Einfluss motorischer Versuchsbedingungen auf die Klopffestigkeitsbestimmung.

Von der Technischen Hochschule zu Breslau

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

Dissertation.

Vorgelegt von

Dipl. Ing. Herbert Reichel

aus Breslau.

Referent:
Prof. Dr. Ing. H. Baer

Korreferent:
Priv. Doz. Dr. Ing. A. W. Schmidt

Tag der mündlichen Prüfung: 22. 6. 1934

*320413

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhaltsangabe.

	Seite
Einleitung	1 - 2
A. Ricardo- und CFR-Versuchsmethode	3 - 6
B. Versuchsentwicklung und Brennstoffe	7 - 11
Einregulierung des Brennstoff/Luft-Gemisches	12 - 16
C. Einfluss motorischer Versuchsbedingungen auf die Klopffestigkeitsbestimmung	
Einfluss der Drehzahl	17 - 23
Einfluss der Lufttemperatur	24 - 27
Einfluss der Zylindermanteltemperatur	28 - 32
D. Auswertung der Versuchsergebnisse	33 - 37
E. Lebenslauf	38

Literaturangaben.

1) Harry R. Ricardo: Schnellaufende Verbrennungsmotoren, 2. Auflage

2) v.Philippovich: Vergleichende motorische Untersuchung von Kraftstoffen, D.V.L.-Jahrbuch 31.

3) "Oktanzahl und HUCR", The Automobile Engineer, No. 291, März 32.

4) D.V.M., übersetzter Auszug über die 4. Versammlung des Standardization Sub-Committee No. 9 am 8.1.32.

5) S.A.E.Journal, August 1931.

6) Fritz Seeber, Breslau: Untersuchungen über die Auswirkungen mechanischer und physikalischer Einflüsse auf die Kompressionsbeständigkeit von Kraftstoffen.

7) Reichel: Die Klopfgrenze, Automobiltechnische Zeitschrift No. 11/1928.

8) R. Stansfield: The Strobophonometer, Journal of the Institution of Petroleum Technologists, No. 104, June 1932.

9) Zwanglose Mitteilungen des Deutschen und des Österreichischen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik, No. 33, Oktober 1931.

10) "Correlation of Knock Ratings", S.A.E.Journal, Oktober 1932.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545806_0032

Einleitung.

Die rasche und sprunghafte Entwicklung des Automobils ist nur möglich gewesen, dass als Energiequelle ein Brennstoff zur Verfügung stand, nämlich das Benzin, das durch Destillation des Erdöls als leichte Fraktion in unbegrenzten Mengen vorhanden war. Bis zum Jahre 1914 interessierte den Motorenbauer der Brennstoff selbst überhaupt nicht. Allerdings setzte schon kurz vor dem Weltkriege eine Bewegung ein, die darauf hinzielte, das in Deutschland auf den Zechen anfallende Benzol rein als Motorentreibstoff zu verwenden. Durch die Abschnürung Deutschlands während des Weltkrieges musste Benzol gezwungenermassen als Motorentreibstoff verwendet werden. Diese Bestrebung hatte erst Erfolg, als festgestellt wurde, dass eine einigermassen einwandfreie Verbrennung des Benzols im Motor nur durch Erhöhung des damals sehr niedrigen Verdichtungsverhältnisses der Motoren möglich ist. Von diesem Moment an wurde das Gebiet der Brennstoff-Chemie, soweit es sich um die flüssigen Brennstoffe für Verbrennungsmotoren handelte, interessant. Hinzu kam in Deutschland noch die Tatsache, dass die Automobilfabriken durch die Steuerpolitik gezwungen wurden, Motoren kleinen Hubvolumens zu bauen, die aber eine grosse Literleistung hergeben sollten. Durch diese Steigerung der Literleistung, die in der Hauptsache durch Erhöhung der Drehzahl, ganz besonders aber durch Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses ermöglicht wurde, vermehrten sich automatisch die Anforderungen, die an den Brennstoff gestellt wurden; denn es trat die Erscheinung auf, dass im Gegensatz zu Benzol die auf dem Weltmarkt vorhandenen Benzine ohne weiteres nicht bei den nunmehr erhöhten Verdichtungen zu gebrauchen waren, weil dann das bekannte Motorklopfen einsetzte. Hinwiederum war Benzol nicht in den Mengen vorhanden, dass es allein den Bedarf an Motorentreibstoff gedeckt hätte, ganz abgesehen davon, dass trotz der chemischen Veredelung des deutschen Benzols im Motor wegen der hohen Verdichtung Begleiterscheinungen auftraten, die die Verwendung des Benzols allein als Treibstoff nicht angeraten sein liessen. Es fiel daher dem Benzol die Rolle zu, als Antiklopfmittel für wenig klopffeste Benzine verwendet zu werden. Aber auch die Klopffestigkeit der Benzine selbst ist sehr verschieden, was sich danach richtet, aus welchen Erdölprodukten das Benzin gewonnen bezw. wo das Erdöl gefördert wird. Es setzte daher in Europa, später besonders in Amerika, eine Bewegung ein, die es sich zum Ziel setzte, Methoden zu entwickeln, um die Klopffestigkeit der einzelnen Brennstoffe zu bestimmen. Der Erste, der in dieser Beziehung bahnbrechend wirkte, war der Engländer H.R. Ricardo, der für die Qualitätsbeurteilung der Brennstoffe einen 1 Zyl.Motor konstruierte, dessen Verdichtungsverhältnis während des Betriebes veränderlich war. Ausgehend von der Tatsache, dass durch die

Bestimmung der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Brennstoffe auf deren Verhalten im Motor nicht geschlossen werden kann, ermittelte Ricardo an seinem Motor mittels des Gehörs das Verdichtungsverhältnis, bei dem das bekannte Motorklopfen regelmässig in einer bestimmten gleichmässigen Klopfstärke auftrat. Seine Versuchsergebnisse sind in seinem bekannten Werk [1] niedergelegt. Späterhin haben auch andere Stellen Versuchsmotoren für die Bestimmung der Klopffestigkeit der Brennstoffe entwickelt. Bekannter sind geworden die Delco-Maschine und der Whitworth-Armstrong-Motor. Bei allen diesen Motoren handelt es sich aber um das Festhalten der von Ricardo zum erstenmal angewandten Methode, das Verdichtungsverhältnis zu variieren und um eine Verbesserung durch Einführung des Bouncing Pin, wodurch die subjektive Abhörmethode durch eine mechanische ersetzt wurde. In Amerika bildete sich auf Betreiben der grossen Mineralöl-Gesellschaften das Committee of Cooperative Fuel Research mit dem Zwecke, einen Versuchsmotor und eine Versuchsmethode heranzubilden. Diese Arbeiten haben zu dem Bau des CFR-Motors geführt, der allem Anschein nach die grösste Aussicht hat, vorläufig als Einheitsmotor für solche Bestimmungen auf der ganzen Welt eingeführt zu werden. Der Vorteil liegt darin, einen Motor mit einer einheitlich festgelegten Versuchsmethode zur Bestimmung der Klopffestigkeit von Brennstoffen zu besitzen, so dass dann die an verschiedenen Prüfstellen gefundenen Resultate übereinstimmen. Wenn bisher nach den mannigfaltigsten Methoden an den verschiedensten Motoren gearbeitet wurde, fielen die Resultate dementsprechend aus, wenn auch meistens bei der Untersuchung verschieden klopffester Brennstoffe in der Reihenfolge Übereinstimmung herrschte [2]. Solange die direkte Messmethode, d.h. die Ermittlung des kritischen Verdichtungsverhältnisses, bei dem das Klopfen eintrat, angewandt wurde, so ist es klar, dass bezüglich der absoluten Höhe das Resultat von der Motorkonstruktion, insbesondere von der Gestalt des Verbrennungsraumes, abhängig war. Daher war es ebenso wichtig, neben der Schaffung eines Einheitsmotors und der Festlegung der Versuchsbedingungen dazu überzugehen, die Vergleichsmethode anzuwenden und einen geeigneten Bezugskraftstoff zum Ausdrücken der Klopffestigkeit des zu untersuchenden Brennstoffes zu finden [3]. Durch Einführung der Vergleichsmethode und der Verwendung von Oktan/Heptan als Substandard (Oktanzahl) sind aber die Resultate bei der Untersuchung von Benzinen an verschiedenen Motoren immer noch verschieden [4], wenn die bei diesen Versuchsmotoren einmal eingeführten Versuchsbedingungen angewandt werden, da letztere nicht übereinstimmen und auch die Bauweise der Motoren sich unterscheidet, wie auch die vom DVM vorgenommenen Vergleichsversuche zeigen.-

Ricardo- und CFR-Versuchsmethode.

Es ist in der Einleitung schon gesagt, dass durch die Festlegung der physikalischen und chemischen Daten der flüssigen Motor-Treibstoffe sich nicht einwandfrei das motorische Verhalten der letzteren vorausbestimmen lässt. Diese Tatsache bildet daher die Grundlage dafür, dass so viele Versuchsmotoren entwickelt wurden, obwohl jetzt nach Einführung des CFR-Motors ein gewisser Stillstand eingetreten ist. Es muss also neben diesen Bestimmungen eine motorische Prüfung des Brennstoffes erfolgen. Dieser Erkenntnis haben sich daher die Brennstoff-Gesellschaften nicht verschlossen und sind mit der Zeit dazu übergegangen, eigene Prüfstände zu unterhalten, denen die Überwachung der von ihnen in den Handel gebrachten Brennstoffe bezüglich gleichbleibender Qualität anvertraut ist. Hierfür gilt in der Hauptsache als Massstab die im Motor ermittelte Verdichtungsfestigkeit des Brennstoffes; denn der Konstrukteur des Motors will natürlich die Verdichtungsmöglichkeit des Brennstoffes restlos ausnutzen, um so auf eine möglichst gute Leistung und Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades seines Motors zu kommen.

Ricardo ging nun folgendermassen vor:
Dadurch, dass an seinem 1 Zyl.Versuchsmotor die Ventile hängend angeordnet waren und von oben gesteuert wurden, war es ihm möglich, den Zylinderkopf bezw. den ganzen Zylinder derart beweglich auszugestalten, dass durch Herunter- oder Heraufdrehen des Zylinders der Kompressionsraum des Motors während des Betriebes verändert wurde; dabei wurden die Versuchsbedingungen bezüglich der Kühlwasser-,Luft- und Öltemperatur konstant gehalten. Die Einregulierung des Brennstoff/Luft-Gemisches, die eine wesentliche Rolle spielt, worauf später eingegangen wird, geschah derart, dass eine verstellbare Brennstoffdüse so eingestellt wurde, dass bei einem bestimmten niedrigen Verdichtungsverhältnis sich ein einmal festgelegter Brennstoffverbrauch ergab. Die Zündung wurde einmal unter Verwendung verschiedener Brennstoffe für jedes Verdichtungsverhältnis derart ermittelt, dass der Motor die beste Leistung hergab. Dabei stellte Ricardo fest, dass zwischen den einzelnen Brennstoffen bezüglich dieser Zündeinstellung kein Unterschied bestand. Wenn also während des Versuchs das Verdichtungsverhältnis variiert wurde, so musste auch immer entsprechend der jeweiligen Verdichtung die Zündung neu eingestellt werden. Diese Zündeinstellkurve liegt so, dass sich der Zündwinkel (Vorzündung vor o.T.) mit zunehmender Verdichtung verringert. Abgesehen also von der Zündung, waren die anderen Versuchsbedingungen ziemlich willkürlich gewählt. Die Versuchsmethode bestand nun darin, dass dasjenige Verdichtungsverhältnis ermittelt wurde, das gehörsmässig ein regelmässiges Klopfen einer bestimmten Intensität ergab. Dieses Verdichtungsverhältnis war dann der

Wert für die Klopffestigkeit des untersuchten Brennstoffes. Die Versuchsmethode selbst war also eine direkte Bestimmungsmethode. Bei der Untersuchung ein und derselben Muster zeigte sich aber bald, dass in dem Ergebnis zum Teil erhebliche Differenzen auftraten. Eine Reproduzierbarkeit war daher nur bedingt möglich. Es musste hierfür den Einflüssen nachgegangen werden, wodurch diese Unterschiede hervorgerufen werden. Zuerst war es natürlich nicht gleich, welcher Versuchsingenieur die Messungen ausführte, da ja nach der subjektiven Gehörsmethode gearbeitet wurde, die eine sehr grosse Praxis auf diesem Gebiete voraussetzte. Aus diesem Grunde wurde bald neben dem Abhören des Klopfens der mittlere effektive Kolbendruck bis hinauf in den Bereich schweren Klopfens ermittelt. Hierbei zeigte sich, dass der Kolbendruck in Abhängigkeit von dem Verdichtungsverhältnis bei Klopfbeginn noch zunahm und erst bei stärkerem Klopfen des Brennstoffes geringer wurde. Auf diese Weise konnte graphisch das Verdichtungsverhältnis ermittelt werden, bei dem sich die beste Leistung ergab, wobei dieses Verdichtungsverhältnis mit dem vorher gewählten regelmässigen Klopfen nach der Gehörsmethode übereinstimmte. Die so ermittelte Verdichtung nannte Ricardo "Highest Useful Compression Ratio",die somit ermittelten Klopffestigkeitswerte der einzelnen Brennstoffe sind die sich in der Literatur vorfindenden HUCR-Zahlen.- Ein weiterer Grund für die auftretenden Differenzen waren die an den einzelnen Versuchstagen herrschenden verschiedenen barometrischen Verhältnisse. Ricardo hielt die Lufttemperatur vor dem Vergaser nicht konstant, sondern verwendete zur Erreichung einer besseren Vergasung eine elektrische Vorwärmung, wobei die zugeführte Wärmemenge konstant gehalten wurde. Die Temperatur des fertigen Brennstoff/Luftgemisches war also verschieden. Der Luftdruck wurde dann dadurch berücksichtigt, dass ein Bezugskraftstoff, dessen HUC-Zahl genau festgelegt war, eingeführt wurde, an dem vor Beginn der eigentlichen Untersuchung die barometrischen Tageseinflüsse ermittelt wurden. Der somit festgestellte Korrekturfaktor des Tages, bezogen auf einen Barometerstand von 760 mm QS, musste bei der nachher durchgeführten Klopfbestimmung eingesetzt werden. Die unter dieser Berücksichtigung ermittelten HUCR-Zahlen nannte Ricardo absolute HUCR-Zahlen. Es ergab sich nunmehr bei Bestimmung ein und desselben Musters an verschiedenen Versuchstagen eine genügende Versuchsgenauigkeit. Jahrelang sind dann nach dieser Versuchsmethode die Klopffestigkeits-Bestimmungen durchgeführt worden.-

Das Committee of Cooperative Fuel Research hat den Gedanken der veränderlichen Verdichtung von Ricardo übernommen. Im Prinzip ist also der CFR-Motor [5] dasselbe wie die Ricardo-Maschine. Abgesehen davon, dass zur Erzielung konstanter Versuchsbedingungen Einzelheiten an dem Motor sehr verfeinert worden sind, besteht aber zwischen der Ricardo- und der CFR-Methode ein grundlegender Unterschied in der Klopffestigkeitsbestimmung. Am CFR-Motor wird nicht mehr direkt das höchstmögliche Verdichtungsverhältnis bestimmt, sondern der zu untersuchende Brennstoff zwischen zwei Brennstoff-Mischungen verschiedener Klopffestigkeit "eingeschnitten". Es werden

also zu dem zu untersuchenden Brennstoff passende Substandardmischungen gesucht, wobei die eine eine grössere, die andere eine geringere Klopffestigkeit als der zu untersuchende Brennstoff besitzt, die alle bei einem einmal gewählten konstanten Verdichtungsverhältnis auf maximales Klopfen bezüglich des Mischungsverhältnisses Brennstoff/Luft einreguliert werden. Man erhält dadurch für die Substandardmischungen einen Bereich auf der Skala des Knockmeters, innerhalb dessen der zu untersuchende Brennstoff liegt, sodass er zu den beiden anderen linear interpoliert werden kann. Um die Versuchsgenauigkeit zu erhöhen, wird die Spanne der ausgewählten Vergleichskraftstoffe nicht zu gross gewählt. Dabei spielt also die Höhe des gewählten Verdichtungsverhältnisses keine Rolle, wenn dies auch für den zu untersuchenden Brennstoff immer so hoch genommen wird, dass sich am Knockmeter ein Ausschlag von ca. 60 Teilstrichen ergibt. Als Vergleichsbrennstoffe dienen Mischungen aus chemisch reinen Stoffen, nämlich Heptan und Iso-Oktan, so dass der Volumenanteil an Iso-Oktan in der Mischung die gefundene Oktanzahl des zu untersuchenden Brennstoffes darstellt. Um die Versuchskosten herabzudrücken, wird statt reinem Oktan-Heptan ein Unterstandard für die einzelnen Bestimmungen benutzt, der auf Oktan/Heptan-Mischungen geeicht ist, wobei die Eichung am Motor selbst von Zeit zu Zeit nachgeprüft wird. Die subjektive Gehörsmethode ist ganz verlassen worden; sie ist durch die Einführung des Bouncing Pin-Gerätes ersetzt. Dieses Instrument ist ein Sprungstab, der über einer Membrane angeordnet ist, die an den Verbrennungsraum anschliesst. Durch die Schwingungen der Membrane, die bei eintretendem Klopfen stärker werden, setzt sich der Sprungstab in Bewegung und schliesst einen elektrischen Stromkreis, der auf eine Holzspule arbeitet, an die als Anzeigeinstrument ein Thermoelement angeschlossen ist. Dieses Instrument, Knockmeter genannt, gestattet das Ablesen der Klopfstärke. Der Stromkreis des Bouncing Pin kann aber auch auf eine Gasbürette umgeschaltet werden, wobei die Gasabsonderung (Knallgas) pro Minute in einer 10 % Schwefelsäurelösung gemessen wird. Die barometrischer Einflüsse sind nun durch die Einführung der Vergleichsmethode eliminiert worden, indem sich diese Einflüsse sowohl auf den zu untersuchenden als auch auf den Vergleichsbrennstoff gleichmässig auswirken. Wenn daher ein und dasselbe Muster an verschiedenen Tagen untersucht wird und bei der willkürlichen Einstellung des Verdichtungsverhältnisses letzteres vollkommen verschieden an den Versuchstagen gewählt ist, bleibt dennoch die gefundene Oktanzahl für den zu untersuchenden Brennstoff innerhalb der Versuchsgenauigkeit gleich. Die Versuchsgenauigkeit selbst beträgt erfahrungsgemäss 1 Oktanzahl. Während also die Ricardo-Methode eine direkte Bestimmung der Klopffestigkeit durch Ermittlung des Verdichtungsverhältnisses darstellte, ist die CFR-Methode eine indirekte, d.h. eine Vergleichsmessung.-

Sehr viel Aufmerksamkeit wurde am CFR-Motor dem Vergaser gewidmet. Während noch Ricardo mit einer zwar verstellbaren Brennstoffdüse arbeitete, aber nur die Versuche mit konstantem Brennstoffverbrauch ausführte, kann an dem CFR-Motor das Brennstoff/Luft-Gemisch ermittelt werden,

das maximales Klopfen bei einer bestimmten Verdichtung hervorruft. Zu diesem Zwecke ist an dem Vergaser eine Zusatzluftdüse vorhanden, deren Querschnitt durch eine Nadel geändert werden kann. Nicht nur der zu untersuchende, sondern auch die Vergleichskraftstoffe werden daher jeder für sich bei dem erst einmal eingestellten Verdichtungsverhältnis auf maximales Klopfen gebracht. Die Versuche haben gezeigt, dass dieses Mischungsverhältnis zwischen dem, das die beste Leistung, und dem, das den besten Brennstoffverbrauch ergibt, liegt.-

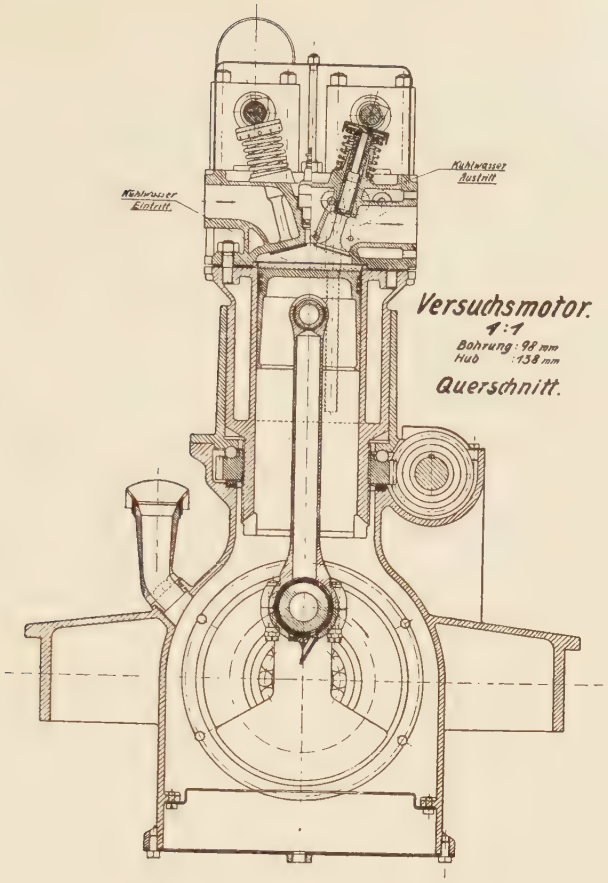
In der Dissertation von F. Seeber [6] sind für vier verschiedene Brennstoffe Oktanzahlen ermittelt worden. Aus dem Vorhergesagten geht hervor, dass die angegebenen Oktanzahlen nicht an dem Versuchsmotor durch die Vergleichsmethode mit einem Unterstandard-Brennstoff gefunden wurden. Vielmehr sind unter den in der Arbeit beschriebenen Versuchsbedingungen die Verdichtungsverhältnisse bestimmt worden, bei denen die Brennstoffe ein Klopfen bestimmter Stärke hervorriefen. In Vergleichsversuchen mit anderen Prüfstellen waren offenbar vorher Benzinmuster untersucht worden, deren Oktanzahlen anderweitig bestimmt wurden, sodass aus dieser Vergleichsarbeit das Versuchslaboratorium in Breslau sich eine Beziehung zwischen Verdichtungsverhältnis seines Motors und Oktanzahlen herstellte. Da die Entstehung der Arbeit aber in eine Zeit zurückreicht, wo die Oktanzahl noch nicht ein fest umrissener Begriff war, so sind die gefundenen Versuchsergebnisse ohne weiteres richtig, wenn man unter Oktanzahl allgemein die Klopffestigkeit versteht. Dann sind die in der obigen Dissertation [6] in den graphischen Darstellungen als eine Ordinate angegebenen Klopffestigkeitswerte im Grunde genommen abgeleitete HUC-Werte, entsprechend der direkten Versuchsmethode von Ricardo. Es verlohnt sich daher, auf die Unterschiede bezüglich des Einflusses einzelner Versuchsbedingungen bei beiden Methoden einzugehen, wie es in der Zusammenfassung obiger Dissertation angeregt wird. Dabei soll für die Beurteilung der Klopffestigkeit der Brennstoffe die subjektive Methode mittels des Gehörs durch die mechanische durch Verwendung des Bouncing-Pin-Gerätes ersetzt werden.-

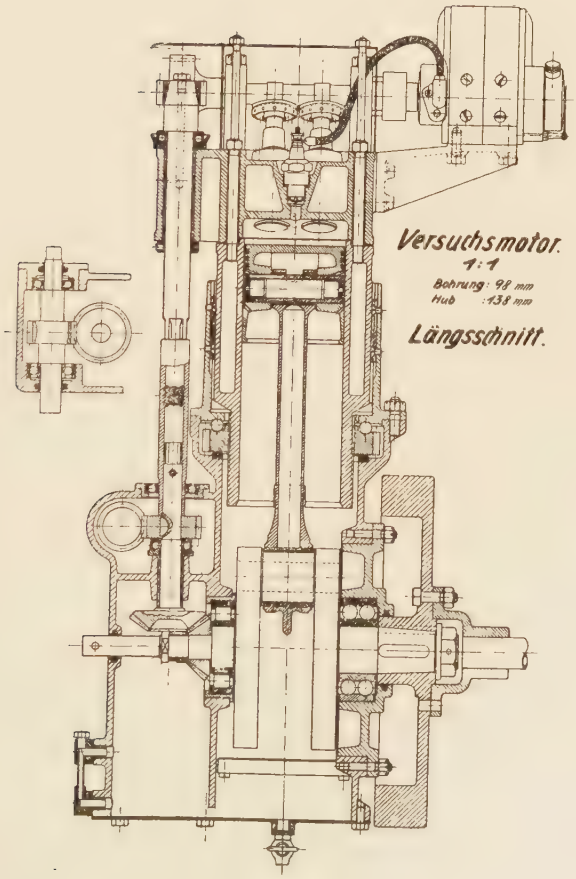
Versuchs-Entwicklung und Brennstoff.

Während meiner Tätigkeit als Assistent am Maschinenlaboratorium der Technischen Hochschule Breslau habe ich mich zum erstenmal mit der Frage der motorischen Prüfung von Motortreibstoffen befasst. Angeregt durch die Veröffentlichungen von Ricardo, konstruierte ich einen 1 Zyl.Versuchsmotor mit veränderlicher Verdichtung, der in seinem Aufbau dem bekannten Ricardo-Motor E-35 ähnelte, um mit Hilfe dieses Motors die Möglichkeit der Untersuchung von Benzinen zu besitzen (siehe Abbildungen auf Seite 8). Nachdem dieser Motor lief, war der nächste Weg, die Versuchsmethode zu entwickeln. Gedacht wurde zuerst an die Verwendung eines Indikators, um aufgrund des aufgezeichneten Diagramms dasjenige Verdichtungsverhältnis zu ermitteln, bei dem sich durch Einzeichnen einer Druckschleife der Beginn des Klopfens bemerkbar macht, indem der Druckanstieg nach der Zündung schon bedeutend vor Erreichen des oberen Totpunktes eintritt [7]. (Bei langsam laufenden Gasmaschinen kann man diese bei Fehlzündungen auftretenden Druckschleifen im Indikator-Diagramm festhalten). Zur Verfügung stand ein Mahak-Stabfeder-Indikator. Die subjektive Gehörsmethode wurde von vornherein verworfen. Aber bei diesen orientierenden Versuchen zeigte sich bald, dass mit einem gewöhnlichen Indikator keine Resultate zu erzielen waren, wenn man bei eintretendem Klopfen aufgrund des gezeichneten Diagramms ein Verschieben des Druckanstiegs vom Zündpunkt weg feststellen wollte, wie es damals beabsichtigt war. Infolge seiner Trägheit ist der Indikator nicht imstande, diese feinen Unterschiede des Druckanstiegs pro Zeiteinheit aufzuzeichnen. Es wurde daher versucht, das Verdichtungsverhältnis bei einem zu untersuchenden Brennstoff so lange zu erhöhen, bis bei sehr starkem Klopfbetrieb die Tourenzahl des Motors erheblich abfiel bezw. bis der Motor selbst stehen blieb. Dies liess sich an diesem ersten Versuchsmotor erreichen. Wenn aber die Versuche mit ein- und demselben Brennstoff wiederholt wurden, traten sehr grosse Differenzen in dem endgültig bestimmten Verdichtungsverhältnis auf. Daher blieb nur übrig, den mittleren effektiven Kolbendruck in Abhängigkeit vom Verdichtungsverhältnis als Kriterium zu benutzen. In diesem Stadium der Versuche wurde ich von der Rhenania-Ossag Mineralölwerke Aktiengesellschaft als Versuchsingenieur angestellt, um einen Prüfstand zu errichten, der die Qualitätsbeurteilung einzelner Brennstoffe vornehmen sollte. Während dieser jahrelangen Tätigkeit habe ich Gelegenheit gehabt, andere Prüfstände und ihre Versuchsmotoren und -methoden kennenzulernen, habe selbst nach vielen Methoden gearbeitet, wobei mir die verschiedensten Brennstoffe und insbesondere Benzine aus Rohölen fast sämtlicher Fundorte der Welt zur Verfügung gestanden haben.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, auch an dieser Stelle der Rhenania-Ossag Mineralölwerke Aktiengesellschaft dafür zu danken, dass sie mir die Anfertigung und Veröffentlichung vorliegender Arbeit gestattet hat.-

Für die vorliegende Arbeit sind vier Brennstoffe ausgesucht worden, deren Siedeanalyse in grossen


Kühlwasser Austritt
Kühlwasser Eintritt
Versuchsmotor.
1:1
Bohrung: 98 mm
Hub : 138 mm
Querschnitt.


Versuchsmotor.
1:1
Bohrung: 98 mm
Hub : 138 mm
Längsschnitt.

Zügen gleich ist und derjenigen ungefähr entspricht, wie sie die bisher auf dem Markt in Deutschland befindlichen Benzine (ohne Alkoholzusatz) aufwiesen. Mit Absicht sind für die Versuchskraftstoffe A, B, C drei unvermischte Benzine und für den Kraftstoff D eine Mischung aus verschiedenen Benzinen ausgesucht worden, weil dadurch zu erhoffen war, dass die Versuchsresultate gleichlaufend ausfallen würden. Es handelt sich entweder um Straight Run oder um Crackbenzine. Eine weitere wichtige Gruppe wären die Benzin/Benzol-Mischungen; da bei den vorliegenden Versuchen als Unterstandard Benzin/Benzol-Mischungen benutzt wurden, so sind für diese Brennstoffgruppe ebenfalls Resultate gewonnen worden.

Die Siedeanalyse der Brennstoffe geht aus Fig. 1 hervor. Wenn also die Siedeanalysen keine nennenswerten Unterschiede aufweisen, so sind die vier Versuchsbrennstoffe in ihrer Klopffestigkeit jedoch sehr verschieden. Sie sind gekennzeichnet durch:

A = Straight Run-Benzin (Russland) Oktanzahl 43,3
B = Straight Run-Benzin (Venezuela) " 6o,8
C = Crackbenzin (Venezuela) " 7o,2
D = Mischung verschiedener Benzine (ohne Benzol) " 78,3

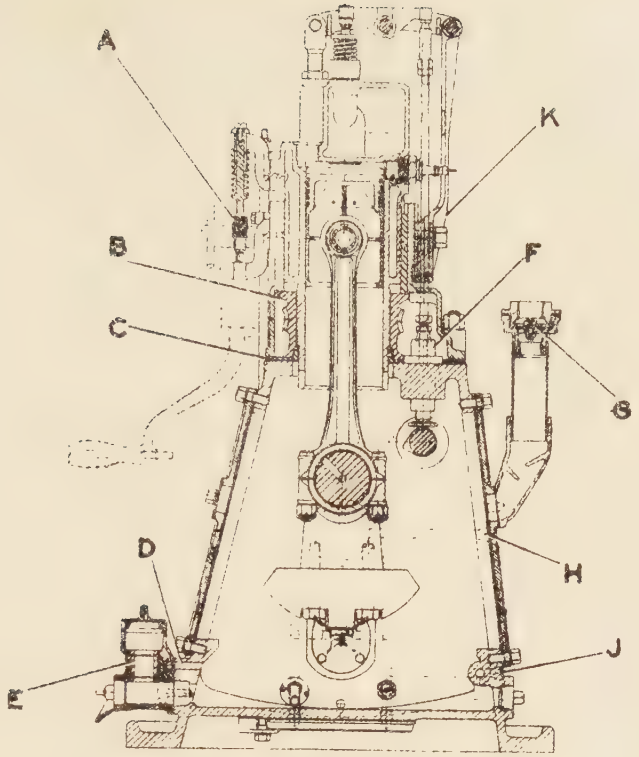
Was die Klopffestigkeit anbelangt, decken die vier ausgesuchten Brennstoffe einen sehr grossen Bereich, der heute praktisch für den Motorenbetrieb mit normaler Verdichtung infrage kommt. Die Oktanzahlen sind am CFR-Motor, dessen Konstruktion folgende Lichtbilder zeigen (siehe Abbildungen Seite 1o),

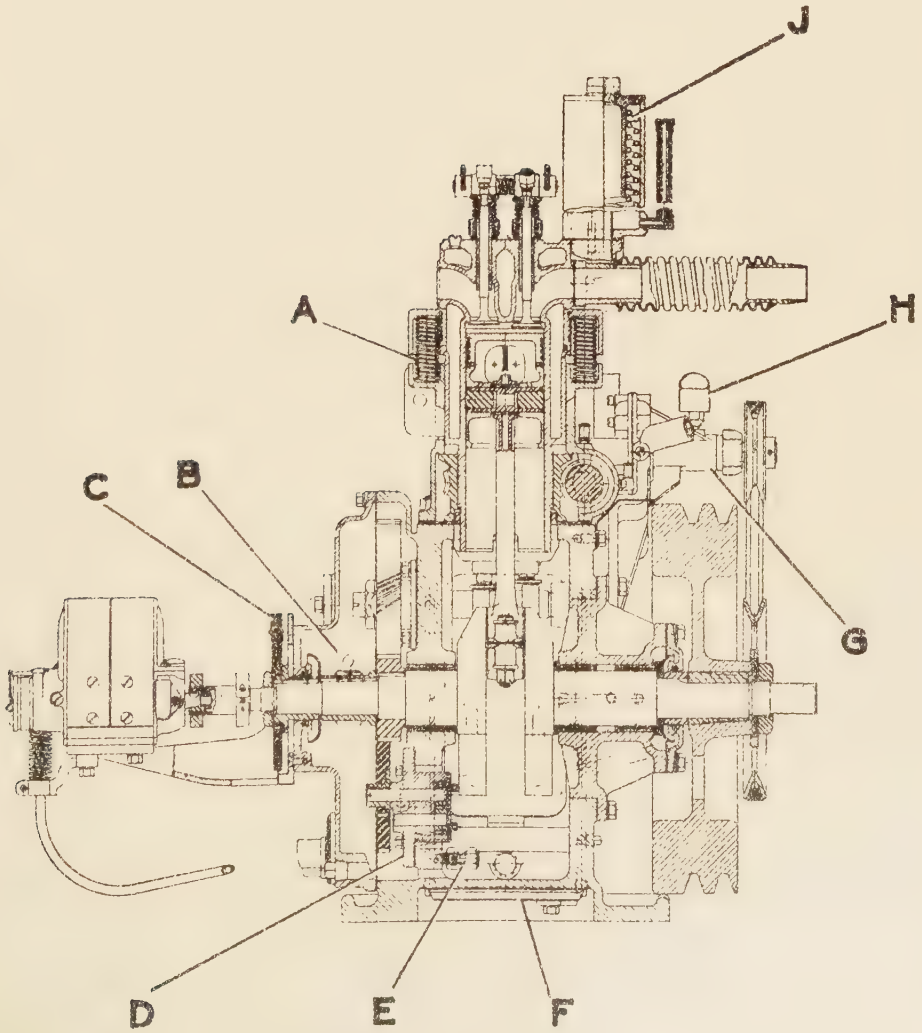
Längsschnitt des Motors.

A. Federn zur Aufhebung des toten Ganges des Zylinderblocks
B. Tachometer-Antriebswelle
C. Zündstellungs-Anzeiger
D. Zahnrad-Ölpumpe
E. Rückschlagventil
F. Elektrischer Ölerhitzer
G. Kühlwasser-Zirkulationspumpe
H. Fettbüchse für die Wasserpumpe
I. Kondensator

Querschnitt des Motors.

A. Mikrometer (Verdichtungsverhältnis)
B. Verstellungsvorrichtung für Zylinderblock
C. Führung des Zylinderblocks
E. Ölstandsglas
F. Ventilstössel-Führung
G. Entlüftung
I. Thermometerstutzen
K. Kipphebelstützstange


A
K
B
F
C
G
D
H
J
E


J
A
H
C
B
G
D
E
F

unter nachstehenden Versuchsbedingungen bestimmt worden, die im Gegensatz zur neuen CFR-Motor-Methode (andere Versuchsbedingungen) CFR-Research-Methode genannt werden:

Bohrung = 82,6 mm

Hub = 114,3 mm

Hubvolumen = 612 ccm . . .

Umdrehungszahl = 600 U.p.M.

Verdampfungskühlung = ca. 98 - 100 °C

Vergasereinregulierung auf maximales Klopfen

Öltemperatur über 5o°C bis 55°C

Zündung für maximale Leistung

Lufttemperatur v.d. Vergaser 3o°C.

Einregulierung des Brennstoff/ Luft-Gemisches.

Am Anfang meiner jetzigen Tätigkeit stand mir ein Ricardo-Motor für die Klopffestigkeitsbestimmung von Benzinen zur Verfügung. An diesem Motor wird, wie schon vorher gesagt, die Einregulierung des Brennstoff/Luft-Gemisches am Vergaser durch eine verstellbare Brennstoffdüse derart vorgenommen, dass bei einem bestimmten Verdichtungsverhältnis sich ein normaler Brennstoffverbrauch von einer einmal festgesetzten Höhe ergibt. Mit diesem Motor ist dann die Eichung eines Substandard-Brennstoffes und die Eichung von Mischungen dieses Substandards mit Benzol (C_6H_6) vorgenommen worden, sodass mittels dieser Eichkurve an jedem anderen Motor durch Anwendung der Vergleichsmethode Klopfwertbestimmungen gemacht werden konnten. Auf Klopffestigkeitsbestimmungen an einem normalen Automobilmotor wurde Wert gelegt, um sich den Verhältnissen der Praxis anzupassen. Durch den Vergleich von am Ricardo- und an normalen Automobilmotoren untersuchten Mustern zeigte sich bald, dass die gewonnenen Klopffestigkeitswerte (natürlich nicht in der absoluten Höhe) gut übereinstimmten, sofern es sich um normale Automobiltreibstoffe handelte, wie sie sich auf dem deutschen Markt befinden, weil diese damals in ihrem chemischen Aufbau hinwiederum mit dem gewählten Substandard fast übereinstimmten. Bei anders aufgebauten Treibstoffen fiel dagegen die an dem Automobilmotor ermittelte Klopffestigkeit gegenüber Resultaten, die an speziellen Versuchsmotoren gefunden wurden, erheblich abweichend aus. Ging man den Gründen hierfür nach, so konnte unter vielem z.B. festgestellt werden, dass eine Ursache für diese Abweichung darin bestand, dass das spezifische Gewicht gegenüber den Substandard-Treibstoffen verschieden war. Es musste sich allerdings hier schon um grosse Unterschiede im spezifischen Gewicht handeln, damit dadurch das Mischungsverhältnis zwischen Brennstoff und Luft wegen der bei den Versuchen verwendeten konstanten Brennstoffdüse am Vergaser für den zu untersuchenden Brennstoff falsch war. Eine weitere Beobachtung bestand darin, dass die abweichenden Resultate besonders bei Brennstoffen auftraten, die ganz im Crack- oder Hydrierverfahren gewonnen waren, d.h. also bei Brennstoffen, die sehr viel ungesättigte Verbindungen enthalten. Die graphische Darstellung (Fig.2) veranschaulicht das Gesagte. Es handelt sich hier um Markenbenzine, die in ihrem Klopfverhalten im dem Automobilmotor gleiche Tendenz zeigten. Diese Brennstoffe sind ebenfalls im CFR-Motor nach der Research-Methode untersucht worden, wobei die Oktanzahl verschieden hoch ausfiel. Die graphische Darstellung zeigt, dass die Oktanzahl bei gleichgearteten Treibstoffen abfällt, je mehr leichtsiedende Bestandteile in dem einzelnen Treibstoff vorhanden sind, was darauf hindeutet, dass der Brennstoff wenig aromatische Verbindungen enthält. Dagegen steigt die Oktanzahl an, wenn die Dampfspannung des Treibstoffes zunimmt. Dasselbe

tritt ein, wenn der zu untersuchende Kraftstoff reichlich ungesättigte Verbindungen enthält, was hinwiederum bedeutet, dass dieser Brennstoff einen grossen Anteil an Crackbenzin enthält. Die hier nur nebenbei erwähnten drei Faktoren scheinen also im CFR-Motor gegenüber einem normalen Automobilmotor sich besonders stark auszuwirken. Daher wurde den Einflüssen nachgegangen, die die Abweichungen hervorriefen, d.h. es wurden systematisch die einzelnen Versuchsbedingungen auf ihren Einfluss für die Klopffestigkeit hin untersucht. Dabei zeigte sich u.a. bald, dass die an dem normalen Automobilmotor einmal gewählte Düsenkombination wohl für die Vergleichskraftstoffe und daher für die normalen Autotreibstoffe ungefähr stimmte, dagegen abgeändert werden musste, wenn man bei der Untersuchung anders aufgebauter Benzine auf die entsprechenden Werte kommen wollte, wie sie an den speziellen Versuchsmotoren gefunden wurden. Das ist auch der Grund dafür, dass an dem CFR-Motor der Ausbildung des Vergasers sehr viel Aufmerksamkeit geschenkt worden ist. Hier geschieht die Einregulierung des Brennstoff/Luft-Gemisches derart, dass eine regulierbare Zusatzluftdüse so lange verstellt wird, bis das Mischungsverhältnis ermittelt ist, das bei jedem Brennstoff das maximale Klopfen hervorruft. Steht dieses Mischungsverhältnis fest, so genügt eine geringe Verstellung dieser Zusatzluftdüse nach der magereren bezw. fetteren Seite hin, um das auftretende Brennstoffklopfen sofort schwächer werden zu lassen. Bei genügender Verstellung nach beiden Seiten verschwindet das Klopfen sogar ganz. Diese Erscheinung ist aber schon bekannt. In der Praxis ist z.B. häufig bei Auftreten von Brennstoffklopfen letzteres auf eine zu magere Einstellung des Vergasers zurückgeführt und durch eine fettere Einstellung behoben worden. Auf Seite 36 der bereits erwähnten Dissertation [6] ist diese Beobachtung nicht aufgetreten, was daran liegen dürfte, dass die magere Einstellung an dem Versuchsmotor nicht genügend weit getrieben worden ist, wobei sonst ebenfalls eine Zunahme des möglichen Verdichtungsverhältnisses eingetreten wäre.

Da also die Einregulierung des Brennstoff/Luft-Gemisches eine sehr grosse Rolle spielt, wenn die grösste Klopfintensität des Brennstoffes bei einem konstanten Verdichtungsverhältnis erreicht werden soll, so ist bei vorliegender Arbeit auf diesen Punkt Rücksicht genommen worden. Für jeden Versuchskraftstoff ist daher die Klopfstärke bei verschiedenen Vergasereinstellungen gemessen worden.

Die Versuchsresultate sind folgende:

TABELLE 1.

CFR-Motor; Versuchsbedingungen: Tourenzahl = 600 U.p.M., Lufttemperatur = 50°C, Zündung für beste Leistung, Barometerstand schwankt zwischen 754,8 und 765,7 mm QS bei 0°C.

Brennstoff	Klopfstärke cm^3 Gas/Min.	Leistung PS	Brennstoffverbr. g/PS u.Std.	Orsatanalyse CO_2	O_2	CO	Luftübersch. koeffizient
	0	1,99	600	5,8	0,6	11,8	0,81
	0,01	2,07	485	8,4	0,2	8,2	0,86
	0,1	2,06	459	9,2	0,3	7,1	0,88
	0,23	2,06	438	9,8	0,3	5,6	0,91
	0,32	2,04	426	10,4	0,4	4,6	0,93
A = 4,9:1	0,45	2,04	405	11,8	0,2	2,7	0,96
	0,50	2,04	393	12,0	0,2	2,0	0,98
	0,34	2,04	365	13,0	0,1	0,1	1,0
	0,21	2,02	358	14,2	0,4	0	1,02
	0,04	2,0	342	14,5	1,0	0	1,05
	0	1,95	340	14,0	1,8	0	1,09
	0	1,97	655	5,2	0,1	13,0	0,78
	0	2,18	486	8,0	0,4	8,6	0,85
	0,06	2,2	442	8,6	0,4	7,0	0,88
	0,3	2,15	418	10,8	0,2	3,6	0,94
	0,43	2,11	407	11,3	0,3	2,4	0,96
B = 5,33:1	0,52	2,11	387	12,0	0,7	1,6	0,99
	0,36	2,11	361	13,4	0,3	0	1,02
	0,26	2,11	340	14,6	0,8	0	1,04
	0,06	2,07	327	14,0	1,5	0	1,07
	0	2,0	328	13,8	2,4	0	1,12

Brennstoff	Klopfstärke cm^3 Gas/Min.	Leistung PS	Brennstoffverbr. g/PS u.Std.	Orsatanalyse CO_2	O_2	CO	Luftüberschuss koeffizient
	0	2,08	568	5,8	0,2	12,8	0,78
	0,01	2,2	488	7,2	0,2	10,3	0,82
	0,13	2,23	440	8,2	0,4	8,8	0,87
	0,33	2,18	418	9,4	0,8	6,3	0,91
	0,46	2,15	392	10,8	0,4	4,0	0,94
C-5,72:1	0,55	2,13	382	11,8	0,5	2,6	0,97
	0,51	2,13	365	13,0	0,5	1,0	1,0
	0,3	2,13	339	14,2	0,8	0	1,05
	0,18	2,1	331	13,8	1,4	0	1,07
	0,06	2,06	326	13,9	1,7	0	1,09
	0,02	2,02	325	13,4	2,3	0	1,12
	0	2,1	573	6,0	0,2	13,0	0,77
	0	2,3	504	7,4	0,4	11,4	0,8
	0,06	2,38	403	9,2	0,2	6,9	0,88
	0,23	2,3	384	11,2	0,2	4,2	0,93
	0,36	2,29	369	11,8	0,4	2,8	0,96
D-6,03:1	0,51	2,27	353	12,8	0,2	1,6	0,98
	0,47	2,27	337	14,0	0,3	0	1,01
	0,43	2,27	321	14,4	0,6	0	1,03
	0,31	2,26	313	15,0	1,0	0	1,05
	0,09	2,17	313	14,7	2,3	0	1,11
	0	2,11	315	13,4	2,6	0	1,13

In den graphischen Darstellungen, Fig.3-6, ist für jeden einzelnen Brennstoff die Klopfintensität, die Leistung und der Brennstoffverbrauch in Abhängigkeit von dem Luftüberschusskoeffizienten aufgenommen worden, wie er sich aus der Analyse der Auspuffgase ergibt. Dabei geschah die Einregulierung des Motors bezüglich der Verdichtung derart, dass bei allen vier Brennstoffen die gleiche maximale Klopfstärke (ca. 0,5 cm^3 Gas/Min.) herrschte, wie sie mittels des Bouncing Pin an der Knallgasbildung in der Gasbürette abgelesen wird.

Aus den Untersuchungsergebnissen der vier Versuchskraftstoffe geht hervor, dass das maximale Klopfen bei einem bestimmten Mischungsverhältnis zwischen Brennstoff und Luft erreicht wird. Wie schon vorher erwähnt, lässt sowohl bei magerer als auch fetterer Einstellung des Brennstoff/Luftverhältnisses die Klopfstärke nach, und zwar vollzieht sich der Abfall bei Luftmangel im allgemeinen etwas rascher als bei Luftüberschuss. Auf die HUC-Methode übertragen, würde das Ergebnis besagen, dass - immer dasselbe gleichstarke Klopfen vorausgesetzt - sowohl bei fetterer als auch magerer Einstellung des Vergasers das Verdichtungsverhältnis gegenüber der normalen Vergasereinstellung erhöht werden kann. Es darf aber daraus nicht der Schluss gezogen werden, dass die Klopffestigkeit dieses Brennstoffes sich bei der falschen Einstellung erhöht. Aus den gleichzeitig aufgenommenen Leistungs- und Verbrauchskurven geht ferner hervor, dass das maximale Klopfen zwischen der Einstellung, die die beste Leistung und derjenigen, die den geringsten Brennstoffverbrauch zeigt, erreicht wird. Der Punkt liegt in dem Gebiet, wo ein geringer Brennstoffüberschuss vorherrscht, d.h. also, wo der Luftüberschuss-Koeffizient kleiner als 1 ist.

Zwischen den einzelnen Brennstoffen besteht bezüglich des Luftüberschusses ($\lambda \approx 0{,}975$) bei welchem maximales Klopfen auftritt, kein Unterschied; nur zeigt es sich, dass die Kurve der Klopfintensität bei steigendem Luftüberschuss langsamer abfällt, je höher die Oktanzahl des Brennstoffes ist. Dadurch kann nunmehr der Umstand erklärt werden, dass im Bereich der niedrigen Oktanzahlen bei der Research-Methode die Versuchsgenauigkeit des CFR-Motors grösser als im Bereich der hohen Oktanzahlen ist, wie es tatsächlich die Praxis gezeigt hat. Denn bei Brennstoffen von geringer Klopffestigkeit gibt es nur eine ganz bestimmte Einstellung des Mischungsverhältnisses, die das maximale Klopfen zeitigt; wenn diese bei der Klopffestigkeitsbestimmung nicht genau getroffen wird, leidet darunter die Versuchsgenauigkeit. Dagegen besteht bei einem Brennstoff mit einer hohen Oktanzahl ein grösserer Spielraum in der Vergasereinstellung, besonders nach der magereren Seite hin, ohne dass sich dadurch die Klopfintensität stark verändert, was durch Wegfall einer zu peinlichen Einstellung eine grössere Versuchsgenauigkeit mit sich bringen kann. Um dies zu zeigen, sind in der graphischen Darstellung, Fig. 7, die Klopfkurven der vier Brennstoffe übereinander gezeichnet.

Bei der nunmehr folgenden Untersuchung des Einflusses der einzelnen Versuchsbedingungen auf die Höhe der Klopffestigkeit sowohl nach der HUC- als auch nach der CFR-Methode ist bezüglich des Brennstoff/Luft-Gemisches die Einstellung des Vergasers immer, wie beschrieben, geschehen und auch immer bei Verschiebung des Wärmezustandes des Motors nachreguliert worden.

Einfluss der Tourenzahl auf die Klopffestigkeit von Kraftstoffen.

Der Ricardo-Motor arbeitete mit einer Drehzahl von 1500 U.p.M. Für diese willkürliche Wahl der Umdrehungszahl dürfte für Ricardo der Umstand massgebend gewesen sein, dass der Motor bei dieser Drehzahl sehr ruhig lief, was für ihn sehr wichtig war, da das Klopfen zuerst mit dem Gehör gemessen wurde. Bei der CFR-Maschine liegt dagegen die Drehzahl für die Bestimmung der Klopffestigkeit von Brennstoffen bedeutend niedriger, nämlich bei 600 U.p.M., sofern die zuerst angewandte CFR-Research-Methode benutzt wird. Man hat sich für diese Drehzahl wahrscheinlich entschieden, weil der Motor bei einem Verdichtungsverhältnis von 6:1 bei 600 U.p.M. das maximale Drehmoment erreicht. Ausserdem ist auch der Drehzahl durch das noch einwandfreie Arbeiten des Bouncing Pin-Geräts eine Grenze gesetzt, die mit 900 U.p.M. angegeben wird [8].

Es war allgemein aus dem praktischen Fahrbetrieb bekannt, dass beim Beschleunigen des Wagens bei einer bestimmten Drehzahl das Motorklopfen eintritt, dann bis zu einem Maximum an Klopfstärke zunimmt, um hinterher wieder an Stärke zu verlieren, bis das Klopfen ganz verschwindet. Dies würde also darauf hindeuten, dass die HUC-Zahl eines Kraftstoffes je nach der gewählten Drehzahl für die Untersuchung des Kraftstoffes verschieden hoch ausfallen würde. Im allgemeinen laufen die 1 Zyl. Versuchsmotoren mit sehr niedrigen Drehzahlen unruhig, sodass man nur den Teil der HUC-Kurve in Abhängigkeit von der Tourenzahl festlegen kann, wo bei Steigerung der Umdrehungszahl die HUC-Zahl zunimmt. Zu bedenken ist hierbei, dass sowohl im praktischen Fahrbetrieb als auch am Ricardo-Motor bezw. an den Versuchsmotoren, die nach der Ricardo-Methode arbeiten, eine konstante und einmal für die Normaldrehzahl ermittelte Düsenkombination benutzt wird, sodass sich bei Veränderung der Drehzahl das Mischungsverhältnis zwischen Brennstoff und Luft verschiebt. Aus diesem Grunde hat seinerzeit der DVM für seine vergleichenden Versuche [9] für die Versuchsmotoren das Arbeiten bei einer konstanten Drehzahl vorgeschrieben, für die die Einregulierung des Vergasers auf eine Stellung zwischen bester Leistung und bestem Verbrauch geschehen sollte.

Im folgenden sind nun die Ergebnisse der Klopfuntersuchung der vier Brennstoffe gegenübergestellt, wie sie am CFR-Motor nach der Ricardo- und der CFR-Research-Methode gefunden wurden; jedoch sind bei der Gegenüberstellung nicht eigentliche (graphisch ermittelte) HUC-Werte der Ricardo-Methode, sondern die Verdichtungsverhältnisse der Einfachheit halber und auch der grösseren Versuchsgenauigkeit wegen angewandt worden, die immer ein gleichstarkes Klopfen bei allen untersuchten Brennstoffen ergaben. Es wurde nämlich in einer Voruntersuchung die Einstellung des Bouncing Pin am CFR-Motor ermittelt, die Klopffestigkeitswerte, im Verdichtungsverhältnis ausgedrückt, ergab, welche den nach der Ricardo-Methode ermittelten HUC-Werten entsprachen. Bekannt-

lich werden die HUC-Werte dadurch festgestellt, dass bei zunehmender Verdichtung die Leistung (oder auch der effektive Kolbendruck) ermittelt und aus der graphischen Auswertung der Leistung in Abhängigkeit vom Verdichtungsverhältnis diejenige Verdichtung bestimmt wird, die das Maximum ergibt, die daher das bestnützlichste Verdichtungsverhältnis (Highstes Useful Compression) darstellt. Obwohl bei den vorliegenden Versuchen die Leistung der Bremsdynamo mit Präzisionsinstrumenten gemessen wurde, ergibt aber die graphische Auswertung je nach dem Durchlegen der Kurve durch die Versuchspunkte eine verhältnismässig grössere Versuchsungenauigkeit, als wenn, wie es bei den vorliegenden Versuchen dann geschehen ist, das Verdichtungsverhältnis ermittelt wird, das immer ein und dieselbe Klopfintensität hervorruft. Nur musste darauf geachtet werden, dass die Einstellung des Bouncing Pin bei Variation der einzelnen Versuchsbedingungen immer wieder auf die ursprüngliche nachreguliert wurde, und dass diese Einstellung den gefundenen HUC-Werten entsprach.

Dies ist bei den Versuchen geschehen. Die graphisch durch Leistungsmessung in Abhängigkeit vom Verdichtungsverhältnis ermittelten HUC-Werte der Brennstoffe A - D und des Brennstoffes B bei Variation der Drehzahl (Fig. 8 und 9) sind in der Tabelle 2 und 3 enthalten und dort neben diejenigen Werte gestellt, die sich bei der weiter unten beschriebenen Untersuchung ergaben:

Tabelle 2.

HUC-Werte der Brennstoffe A - D.

Barometerstand: 765, 5-766,3 mm QS bei 0°C
Temperatur der Ansaugluft: 30°C
Drehzahl: 600 U.p.M.
Verdampfungskühlung
Vergasereinregulierung auf maximales Klopfen
Zündung auf beste Leistung.

Brennstoff	HUC	bei immer gleich starkem Klopfen
A	4,72	4,88
B	5,15	5,18
C	5,35	5,51
D	5,9	5,9

Tabelle 3.

HUC-Werte von Brennstoff B bei verschiedenen Drehzahlen.

Barometerstand: 766,3 mm QS bei 0°C
Temperatur der Ansaugluft: 30°C
Verdampfungskühlung
Vergasereinregulierung auf maximales Klopfen
Zündung auf beste Leistung.

Brennstoff	Drehzahl U.p.M.	HUC	bei immer gleich starkem Klopfen
B	600	5,15	5,18
B	750	5,60	5,51
B	900	6,3	6,24

Aus dieser Gegenüberstellung der Werte geht hervor, dass die für die Arbeit gewählte Methode der Ermittlung eines Verdichtungsverhältnisses zahlenmässig Werte ergibt, die mit den HUC-Zahlen nach Ricardo, wie sie am CFR-Motor ermittelt werden, gut übereinstimmen (Fig. 10), sodass bei dem künftigen Vergleich der Klopffestigkeitswerte, ausgedrückt im Verdichtungsverhältnis, und derjenigen, ausgedrückt in Oktanzahlen, ohne weiteres auch von einem Vergleich der HUC- und Oktanzahlen gesprochen werden kann.

Bei jeder einzelnen Untersuchung ist das Verhältnis zwischen Brennstoff und Luft so einreguliert worden, dass sich am Knockmeter bezw. an der Gasbürette das maximale Klopfen zeigte. Untersucht wurde ein Drehzahlbereich von 600 bis 900 U.p.M.

In der folgenden Tabelle sind die Verdichtungsverhältnisse in Abhängigkeit von der Drehzahl ermittelt worden, wobei das Verdichtungsverhältnis bei jedem Brennstoff immer so lange erhöht wurde, bis ein und dieselbe Klopfintensität vorhanden war.

Tabelle 4.

Barometerstand: 764,4 mm QS bei 0°C
Temperatur der angesaugten Luft: 30°C
Verdampfungskühlung: 97°C
Tourenzahl veränderlich.

Brennstoff	Tourenzahl U.p.M.	ε	Leistung PS	Brennstoffverbr. g/PS u.Std.	Öltemp. °C	Auspufftemp. °C	Klopfintensität cm^3 Gas/4 Min.
A	600	4,88:1	2,19	388	60	344	0,4
	700	5,04:1	2,6	367	61	361	0,36
	800	5,27:1	2,81	371	63	378	0,34
	900	5,67:1	2,93	378	55	392	0,37
B	600	5,18:1	2,36	347	64	350	0,32
	700	5,34:1	2,72	338	68	370	0,34
	800	5,69:1	2,95	340	66	381	0,30
	900	6,24:1	3,17	343	60	397	0,39
C	600	5,51:1	2,43	327	64	356	0,35
	700	5,67:1	2,83	322	63	371	0,35
	800	6,0 :1	3,09	322	62	382	0,33
	900	6,57:1	3,32	324	58	400	0,38
D	600	5,9 :1	2,58	321	62	350	0,38
	700	6,26:1	2,97	316	62	366	0,33
	800	6,77:1	3,27	315	61	379	0,36
	900	7,4 :1	3,46	316	59	396	0,30

Die Ergebnisse sind graphisch auf Fig. 11 dargestellt.

Es zeigt sich, dass bei dem klopffestesten Brennstoff (D) bei Steigern der Drehzahl das Verdichtungsverhältnis stärker zunimmt gegenüber dem am wenigsten klopffesten Brennstoff (A). Wenn ein Unterschreiten der Drehzahl von 600 U.p.M. möglich gewesen wäre, so hätte sich bei genügender Verringerung der Drehzahl vermutlich eine Zunahme des Verdichtungsverhältnisses erreichen lassen. Da für die vier untersuchten Brennstoffe die Oktanzahlen bekannt sind, wie sie sich nach der CFR-Research-Methode bei 600 U.p.M. ergeben, darf man nun nicht eine Festigkeitskurve, Oktanzahlen in Abhängigkeit vom Verdichtungsverhältnis, aufstellen und aus dieser Kurve Oktanwerte für andere Drehzahlen ableiten; denn die Oktanzahl ist an die Versuchsmethode und die gewählten Versuchsbedingungen gebunden. Die Definition der Oktanzahl besagt, dass unter der Einhaltung irgendwelcher Versuchsbedingungen, die aber bei dem zu untersuchenden Brennstoff und dem gewählten Unterstandard gleich sein müssen, der zu untersuchende Brennstoff bezüglich seiner Klopffestigkeit dem durch Interpolation gefundenen Oktan/Heptan-Gemisch entspricht. Es sind daher die Oktanzahlen der vier ausgesuchten Treibstoffe auch bei 750 und 900 U.p.M. bestimmt worden. Hierfür war zuerst notwendig, den gewählten Unterstandard auf Oktan/Heptan-Mischungen zu eichen. Die Eichkurven enthält Fig. 12.

In folgender Tabelle sind die ermittelten Benzolwerte des Unterstandards für die einzelnen Brennstoffe angegeben, die sich bei der Klopffestigkeitsbestimmung im CFR-Motor (siehe Versuchsberichte 1 - 12) bei 600, 750 und 900 U.p.M. ergaben:

Tabelle 5.

Barometerstand: 753,6-772,4 mm QS bei 0°C
Temperatur der Ansaugluft: 30°C
Verdampfungskühlung: 97 - 98°C.

Brennstoff	Benzolwerte Vol. % U.p.M.			Oktanzahlen U.p.M.		
	600	750	900	600	750	900
A	13,2	14,3	14,7	43,3	42,6	41,5
B	36,0	37,0	38,9	60,8	60,2	60,0
C	47,1	47,7	48,2	70,2	69,0	68,0
D	55,9	56,4	56,9	78,3	77,2	76,5

Bei allen vier Brennstoffen gleichmässig nimmt bei Steigerung der Drehzahl der Benzolwert zu. Aus den in der vorigen graphischen Darstellung angegebenen Eichkurven ergeben sich für die einzelnen

Benzolwerte die Oktanzahlen, wie sie in der Tabelle ebenfalls angegeben sind. Die Oktanzahlen fallen unbeträchtlich mit Steigerung der Drehzahl, sodass man praktisch von einer gleichbleibenden Oktanzahl in Anbetracht der Versuchsgenauigkeit von 1 Oktanzahl sprechen kann. Die Ergebnisse bezüglich des Benzolwertes und der Oktanzahlen zeigt Fig. 13.

Betrachtet man die Eichkurven für den Unterstandard bei den einzelnen Drehzahlen, so sieht man, dass bei Steigerung der Drehzahl, gleiche Klopffestigkeit, d.h. gleiche Oktanzahl vorausgesetzt, der Unterstandard für die Variation der Drehzahl empfindlicher als die Oktan/Heptan-Mischungen ist, weil die Benzolwerte mit Steigerung der Drehzahl bei den einzelnen Brennstoffen zunehmen. Trotzdem bleibt aber ein Gleichbleiben bezw. geringes Nachlassen der Oktanzahlen der Brennstoffe bei zunehmender Drehzahl bestehen.

Da bei den vier Versuchskraftstoffen es sich um Straight Run-Benzine bezw. ein Crackbenzin und eine Mischung von Straight Run-Benzinen handelt, wäre es interessant, auch eine Benzin/Benzol-Mischung auf ihr Verhalten hin gegenüber der Variation der Drehzahl zu untersuchen. Solche Kurven für verschiedene Mischungsverhältnisse zwischen Benzin und Benzol lassen sich aus der Eichkurve des Substandards entwickeln, wie folgende Tabelle zeigt (Fig.14):

Tabelle 6.

Lufttemperatur: 30°C
Vergasereinregulierung auf maximales Klopfen
Zündung für maximale Leistung
Verdampfungskühlung: ca. 98°C.

Mischungsverhältnis Vol. % Benzin	Vol. % Benzol	Oktanzahl bei Umdr./Minute 600	750	900
90	10	40,8	39,5	38,2
80	20	48,3	46,8	45,4
70	30	56,0	54,5	53,1
60	40	64,1	62,5	61,0
50	50	72,7	71,1	69,6
40	60	82,4	80,6	79,0

Hier zeigt sich ein unbeträchtliches, aber immerhin stärkeres, Nachlassen der Oktanzahlen der einzelnen Mischungen bei zunehmender Drehzahl.

Zusammenfassend ergibt sich daher das Resultat, dass die Klopffestigkeit eines Brennstoffes, wenn

sie durch ein Verdichtungsverhältnis oder eine HUC-Zahl ausgedrückt wird, mit steigender Drehzahl des Motors zunimmt, dass dagegen aber die Oktanzahl gleichbleibt oder etwas absinkt, weil sich das Oktan/Heptan-Gemisch zu der infolge der Veränderung der Drehzahl auftretenden Verschiebung des Wärmezustandes des Motors anders als die zu untersuchenden Brennstoffe verhält. Da bei den vier ausgewählten und den Substandard-Kraftstoffen es sich um Brennstoffe handelt, die den drei Gruppen Straight Run- und Crackbenzin sowie Benzin/Benzol-Mischungen angehören, so dürfte für diese Brennstoffgruppen das ungefähre Gleichbleiben der Oktanzahl bei Steigerung der Drehzahl gegeben sein. Das besagt aber nicht, dass dieses Ergebnis für alle Brennstoffe gilt. Eine Ausnahme ist z.B. die Gruppe von Brennstoffen, die durch den Zusatz von Spiritus oder Antiklopfmitteln (Eisencarbonyl, Bleitetraäthyl) klopffest gemacht worden sind. Hier ist im Gegenteil eine geringe Zunahme der Oktanzahl zu erwarten, da gegenüber der Steigerung der Drehzahl diese Brennstoffmischungen unempfindlicher als Oktan/Heptan sein dürften, wie amerikanische Prüfstellen bei Untersuchung von durch Bleitetraäthyl klopffest gemachten Benzinen festgestellt haben.-

Einfluss der Lufttemperatur auf die Klopffestigkeit von Kraftstoffen.

Ricardo benutzte an seinem Motor eine elektrische Vorwärmung der angesaugten Luft, wobei die Strommenge konstant gehalten wurde, sodass sich eine in geringen Grenzen schwankende Temperatur des fertigen Gasgemisches ergab. Am CFR-Motor ist eine Vorwärmung der Luft nicht vorgesehen; jedoch hat sich das Nichtkonstanthalten dieser Versuchsbedingung als untunlich erwiesen, da die Versuchsgenauigkeit darunter leidet, sodass bei der neuen Versuchsmethode (CFR-Motor-Methode) ein Heizwiderstand angebracht worden ist, der aber im Gegensatz zum Ricardo-Motor diesmal das Gasgemisch auf einem konstanten Wert hält.

Bei den vorliegenden Versuchen ist nun durch eine elektrisch beheizte Spirale die Lufttemperatur vor dem Vergaser konstant gehalten und der Einfluss der Lufttemperatur auf das Verdichtungsverhältnis bezw. auf die Oktanzahl untersucht worden.

Die nach der Ricardo-Methode am CFR-Motor ermittelten Klopffestigkeitswerte sind in folgender Tabelle zusammengestellt, wobei zu bemerken ist, dass der Bouncing Pin des Motors wiederum so einreguliert wurde, dass er unter den normalen Versuchsbedingungen wieder dieselbe Klopfintensität bei den einzelnen Versuchsbrennstoffen ergab, wie sie bei Untersuchung des Einflusses der Drehzahl ermittelt wurde.

Infolge der veränderten barometrischen Verhältnisse ergibt sich diesmal nur eine etwas geringere Leistung, wodurch auch der spezifische Brennstoffverbrauch beeinflusst wird. Bei den einzelnen Untersuchungen wurde ausserdem jedesmal das Mischungsverhältnis zwischen Brennstoff und Luft auf maximales Klopfen einreguliert, also nicht die bei den normalen Versuchsbedingungen ermittelte Einregulierung beibehalten.

Tabelle 7.

Barometerstand: 745,0 mm QS bei 0°C
Umdrehungszahl: 600 U.p.M.
Verdampfungskühlung: 97°C
Temperatur der angesaugten Luft unverändert.

Brennstoff	Temp.d. anges. Luft °C	ε	Leistung PS	Brennstoffverbr. g/PS u.Std.	Öltemp. °C	Auspufftemp. °C	Klopfintensität cm^3 Gas/ 4 Min.
A	30	4,88:1	2,19	367	58	358	0,42
	60	4,71:1	1,98	382	58	357	0,42
	90	4,6 :1	1,85	391	58	361	0,31
	120	4,51:1	1,73	403	58	355	0,34
B	30	5,18:1	2,28	361	57	355	0,34
	60	5,09:1	2,1	377	57	353	0,37
	90	5,0 :1	1,96	386	58	349	0,35
	120	4,89:1	1,82	395	58	358	0,36
C	30	5,51:1	2,32	346	58	360	0,34
	60	5,38:1	2,13	356	58	354	0,35
	90	5,25:1	1,97	363	59	356	0,38
	120	5,15:1	1,83	366	59	358	0,39
D	30	5,9 :1	2,37	328	59	358	0,36
	60	5,75:1	2,21	331	59	362	0,34
	90	5,6 :1	2,05	335	59	365	0,35
	120	5,47:1	1,89	341	59	365	0,40

Diese Ergebnisse sind graphisch auf Fig. 15 ausgewertet.

Aus den Kurven geht hervor, dass bei Steigerung der Lufttemperatur im Ansaugrohr vor dem Vergaser die nach der Ricardo-Methode ermittelte Klopffestigkeit nachlässt. Da das Klopfen bei Erreichung einer bestimmten Temperatur eintritt, wird diese bei Zunahme der Temperatur des Gasgemisches jetzt schon bei einem niedrigeren Verdichtungsverhältnis erreicht, obwohl der Liefergrad etwas geringer sein dürfte.

Die nach der CFR-Research-Methode ermittelten Oktanzahlen für die vier Versuchskraftstoffe sind in den Versuchsberichten Nr. 13 - 20 enthalten, wobei neben der normalen Temperatur der Ansaugluft (30°C) die Brennstoffe auch bei 90 und 120°C untersucht worden sind. Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 8.

Barometerstand: 746,5-772,4 mm QS bei 0°C
Umdrehungszahl: 600 U.p.M.

Brennstoff	Benzolwerte bei Lufttemperatur °C			Oktanzahlen bei Lufttemperatur °C		
	30	90	120	30	90	120
A	13,2	14,2	16,6	43,3	42,3	42,0
B	36,0	37,7	40,9	60,8	6o,0	61,3
C	47,1	48,0	49,0	70,2	68,7	68,3
D	55,9	57,7	58,6	78,3	77,8	77,6

Die Oktanzahlen sind wieder durch Eichung desselben Unterstandards auf Oktan/Heptan-Mischungen ermittelt, wobei die Eichkurven der Fig. 16 erhalten worden sind.

Das Ergebnis bezüglich der Oktanzahlen der vier Kraftstoffe bei Variation der Lufttemperatur zeigt Fig. 17. Aus dieser geht hervor, dass sich die vier Versuchskraftstoffe fast einheitlich verhalten. In Anbetracht der Versuchsgenauigkeit von 1 Oktanzahl ist das Nachlassen der Klopffestigkeit bei Zunahme der Lufttemperatur nur unbedeutend. Bei dem Crackbenzin tritt allerdings der Abfall der Klopffestigkeit deutlicher zutage. Um das Verhalten von Benzin/Benzol-Mischungen bezüglich der Veränderung der Lufttemperatur zu ermitteln, sind aus den Eichkurven für verschiedene Mischungsverhältnisse zwischen dem Substandard-Benzin und Benzol die Oktanwerte abgeleitet worden, wie sie folgende Tabelle, desgleichen auch Fig. 18, zeigt:

Tabelle 9.

Umdrehungszahl: 600 U.p.M.
Vergasereinregulierung auf maximales Klopfen
Zündung für maximale Leistung
Verdampfungskühlung: ca. 98°C.

Mischungsverhältnis Vol. % Benzin	Vol. % Benzol	Oktanzahl bei Lufttemperatur 30°C	90°C	120°C
90	10	40,8	39,0	37,2
80	20	48,3	46,3	44,7
70	30	56,0	53,8	52,4
60	40	64,1	61,8	60,7
50	50	72,7	70,4	69,3
40	60	82,4	80,0	79,0

Aus den Kurven geht hervor, dass auch für Benzin/Benzol-Mischungen mit Zunahme der Lufttemperatur die Klopffestigkeit (Oktanzahl) etwas nachlässt.

Zusammenfassend ergibt sich dann aus der Untersuchung, dass bei den nach der Ricardo-Methode ermittelten Klopffestigkeitswerten diese bei Steigerung der Lufttemperatur absinken, während die Oktanzahlen, zum mindesten die der Straight Run-Benzine, gleichbleiben. Das Crackbenzin und auch die Benzin/Benzol-Mischungen, wie sie als Unterstandard benutzt wurden, lassen die Tendenz eines geringen Absinkens der Oktanzahl erkennen. Danach scheinen die Straight Run-Benzine am unempfindlichsten gegen eine Steigerung der Lufttemperatur zu sein.-

Einfluss der Zylindermanteltemperatur auf die Klopffestigkeit von Kraftstoffen.

Ricardo benutzte in seinem Versuchsmotor zur Kühlung Leitungswasser, das unten dem Zylinder zugeführt und am Zylinderkopf abgeführt wurde, wobei die Kühlwasseraustrittstemperatur auf 50°C konstant gehalten wurde. Es wurde also nur Wert auf die gleiche Kühlwassertemperatur gelegt, die in ihrer Höhe den Verhältnissen der Praxis ungefähr angepasst war. Beim CFR-Motor dagegen ist diesem Punkt mehr Aufmerksamkeit gewidmet worden, damit die Versuchsgenauigkeit erhöht wird. Um einen möglichst konstanten Wärmezustand des Gesamtmotors zu erreichen, ist für die Kühlung des Zylinders und des Zylinderkopfes das Prinzip der Verdampfungskühlung angewandt worden, wobei die sich bildenden Wasserdämpfe in einem am höchsten Punkt des Kühlsystems angebrachten Kondensator niedergeschlagen werden. Die konstante Temperatur, die sich am Zylinderkopf einstellt, schwankt also entsprechend den barometrischen Verhältnissen zwischen 97 und 100 °C. Damit liegt die Zylindermanteltemperatur bei dem CFR-Motor wesentlich höher als bei dem Ricardo-Motor.

Bei den vorliegenden Versuchen, der Bestimmung der Klopffestigkeit nach beiden Methoden am CFR-Motor, ist die Zylindermanteltemperatur durch Auswahl geeigneter Kühlflüssigkeiten variiert worden, und zwar wurde für Temperaturen unter 100° Aceton und Benzol (C_6H_6) verwendet, deren Siedepunkte bei 56 und 78°C lagen, während für Temperaturen über 100° Mischungen aus Glycerin und Wasser benutzt wurden, deren Siedetemperatur auf ca. 125 und 150°C eingestellt wurde. Der Untersuchungsbereich erstreckt sich also auf Zylindermanteltemperaturen von 56 bis ca. 150°C. Die nach der Ricardo-Methode am CFR-Motor gefundenen Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 10.

Barometerstand: 760,5 mm QS bei 0°C
Temperatur der angesaugten Luft: 30°C
Umdrehungszahl: 600 U.p.M.
Verdampfungskühlung
Zylindermanteltemperatur verändert.

Brennstoff	Zylindermantel-temp. °C	ε	Leistung PS	Brennstoffverbr. g/PS u.Std.	Öltemp. °C	Auspufftemp. °C	Klopfintensität cm^3 Gas/ 4 Min.
A	56	5,55:1	2,41	381	54	322	0,40
	97	4,88:1	2,19	388	60	344	0,40
	122	4,49:1	2,0	426	57	356	0,43
	147	4,25:1	1,74	466	58	365	0,36
B	56	5,91:1	2,57	347	56	330	0,34
	97	5,18:1	2,32	354	60	351	0,33
	122	4,89:1	2,1	387	57	357	0,39
	147	4,63:1	1,86	428	59	365	0,37
C	56	6,16:1	2,6	341	56	328	0,30
	97	5,51:1	2,32	346	58	358	0,34
	122	5,07:1	2,13	376	58	360	0,35
	147	4,85:1	1,91	403	60	369	0,39
D	56	6,77:1	2,72	319	57	321	0,37
	97	5,9 :1	2,48	324	59	358	0,36
	122	5,6 :1	2,25	348	58	360	0,33
	147	5,28:1	2,03	380	59	372	0,32

Es ist wiederum der Bouncing Pin so eingestellt worden, dass sich dieselbe Klopfintensität bei denjenigen Verdichtungsverhältnissen ergab, wie sie bei den einzelnen Brennstoffen in den vorhergehenden Untersuchungen unter Normalbedingungen gefunden worden sind. Die Ergebnisse sind auf Fig. 19 veranschaulicht.

Das Resultat lässt sich dahingehend auslegen, dass bei den vier untersuchten Kraftstoffen mit steigender Zylindermanteltemperatur die Klopffestigkeit, wenn sie durch das Verdichtungsverhältnis ausgedrückt wird, stark nachlässt. Dementsprechend muss bei steigender Zylindermanteltemperatur die Leistung entsprechend dem Nachlassen der Verdichtung abfallen; der Abfall wird aber bei höheren Temperaturen stärker, da ausserdem durch Absinken des volumetrischen Füllungsgrades Verluste eintreten. Daher steigt der Brennstoffverbrauch an. Jedoch ist der Verlauf des

Abfalls der bei dieser Methode gewonnenen Klopffestigkeitswerte bei dem Crackbenzin, Brennstoff C, anders gegenüber den sonstigen untersuchten (in der Hauptsache Straight Run-) Benzinen. Das bei ca. 100° Zylindermanteltemperatur gefundene Verdichtungsverhältnis liegt höher als man erwarten könnte; es tritt dieses uneinheitliche Verhalten bei Bestimmung der Oktanzahlen dieses Brennstoffes ebenfalls zutage, wie es später erläutert wird.

Die nach der CFR-Research-Methode gefundenen Oktanzahlen für die vier untersuchten Brennstoffe sind in den Versuchsberichten Nr. 21 - 30 enthalten. Die Versuchsbedingungen sind diesmal die normalen mit Ausnahme der Zylindermanteltemperatur, die gegenüber der normalen (ca. 98°C) nach oben oder unten verändert wurde. Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 11.

Barometerstand: 753,3-767,9 mm QS bei 0°C
Umdrehungszahl: 600 U.p.M.
Temperatur der Ansaugluft: 30°C
Zylindermanteltemperatur geändert.

Brennstoff	Benzolwerte bei Zylindermanteltemperaturen von °C			Oktanzahlen bei Zylindermanteltemperaturen von °C		
	56	98	149	56	98	149
A	13,7	13,2	11,7	45,5	43,3	41,8
B	32,4	36,0	35,9	6o,o	60,8	60,0
D	53,0	55,9	57,4	77,6	78,3	78,2

Die in dieser Tabelle angegebenen Oktanzahlen entstammen den Eichkurven auf Fig. 20 des verwendeten Substandards, der unter den entsprechenden Versuchsbedingungen auf Oktan/Heptan-Mischungen geeicht wurde.

Die vorstehend angeführten Benzolwerte und Oktanzahlen sind in Fig. 21 aufgetragen. Danach zeigt sich, dass bei den Brennstoffen B und D mit wachsender Zylindermanteltemperatur der Benzolwert wohl etwas ansteigt, die Oktanzahlen dagegen annähernd konstant bleiben. Das besagt, dass sich gegenüber der Zylindermanteltemperatur die als Unterstandard benutzten Benzin/Benzol-Mischungen empfindlicher als die Oktan/Heptan-Mischungen verhalten. Brennstoff A, ebenfalls ein Straight Run-Benzin, zeigt ein leichtes Abfallen der Oktanzahl bei Zunahme der Zylindermanteltemperatur, was sich aber vielleicht auf die grössere Versuchsungenauigkeit zurückführen lässt, die bei Bestimmung der Oktanzahl bei sehr gering klopffesten Brennstoffen eintritt. Bei Brennstoff C (Crackbenzin) streuten die bei den einzelnen Temperaturen gefundenen Benzolwerte so, dass sich daraus keine einheitliche Tendenz für den Einfluss der Zylindermanteltemperatur auf die Höhe der

Klopffestigkeit ableiten liess. Es kann sein, dass das für vorliegende Versuche verwendete Benzin sich in dieser Beziehung besonders ungünstig verhält, womit gesagt werden soll, dass dieselbe Erscheinung nicht für sämtliche Crackbenzine aufzutreten braucht. Die Klärung dieser Frage muss daher noch speziellen Versuchen vorbehalten bleiben. Es wäre lediglich darauf hinzuweisen, dass bei in Amerika angestellten Versuchen, wobei es sich darum handelte, die in praktischen Fahrversuchen an verschiedenen Motoren ermittelten Oktanzahlen mit denen des CFR-Motors in Übereinstimmung zu bringen, auch festgestellt worden ist, dass speziell bei Crackbenzinen Differenzen auftreten. Das hat zu dem Vorschlag geführt, die Versuchsbedingungen des CFR-Motors (CFR-Research-Methode) abzuändern, wobei dann die neue Methode CFR-Motor-Methode genannt wird. [10]

Die dritte Gruppe der untersuchten Brennstoffe umfasste Benzin/Benzol-Mischungen, wie sie als Substandard benutzt wurden. In folgender Tabelle sind für verschiedene Mischungsverhältnisse die Oktanzahlen in Abhängigkeit von der Zylindermanteltemperatur angegeben, deren graphische Auswertung sich in Fig. 22 befindet:

Tabelle 12.

Umdrehungszahl: 600 U.p.M.
Temperatur der angesaugten Luft: 30°C
Vergasereinregulierung auf maximales Klopfen
Zündung für maximale Leistung
Verdampfungskühlung geändert.

Mischungsverhältnis Vol. % Benzin	Vol. % Benzol	Oktanzahlen bei Zylindermanteltemperaturen von 56	98	149
90	10	42,9	40,8	40,5
80	20	50,2	48,3	47,6
70	30	57,9	56,0	55,2
60	40	66,2	64,1	63,2
50	50	74,8	72,7	71,6
40	60	84,2	82,4	80,5

Bei steigender Zylindermanteltemperatur sinkt die Oktanzahl etwas ab, wobei das Absinken umso stärker wird, je mehr Benzol die Mischungen enthalten.

Zusammenfassend zeigt das Ergebnis, dass, wenn man von dem Kraftstoff C absieht, bei Änderung der Zylindermanteltemperatur die Klopffestigkeit, sofern man sie in Oktanzahlen ausdrückt, bei den Straight Run-Benzinen ungefähr gleichbleibt und bei den Benzin/Benzol-Mischungen etwas nachlässt,

während dagegen die nach der Ricardo-Methode gefundenen Werte durchweg erheblich abfallen. Bei dem Crackbenzin (Brennstoff C) kann bezüglich der Oktanzahl je nach der angewandten Zylindermanteltemperatur eine Zunahme bezw. Abnahme der Oktanzahl eintreten, dagegen lässt der Ricardo-Wert wiederum mit steigender Zylindermanteltemperatur nach.-

Auswertung der Versuchsergebnisse.

Zweck der vorliegenden Arbeit war, den Einfluss der hauptsächlichsten Versuchsbedingungen auf die Klopffestigkeitsbestimmung verschiedener Brennstoffe zu untersuchen, wobei die Ergebnisse der beiden gebräuchlichsten Methoden, die direkte Bestimmung durch Ermittlung des kritischen Verdichtungsverhältnisses, und die indirekte Methode, Ermittlung des gleichklopffesten Oktan/Heptan-Gemisches, gegenübergestellt wurden. Dabei ist auf eine Variation der Vorzündung verzichtet worden, weil der Zündzeitpunkt für alle Treibstoffe bei einem bestimmten Verdichtungsverhältnis und klopffreiem Betrieb für die beste Leistung derselbe ist. Da ausserdem der Vergaser so einreguliert wurde, dass sich jeweilig bei konstanten Versuchsbedingungen das maximale Klopfen ergab, war auch diese Versuchsbedingung für sämtliche Versuche eindeutig bestimmt.

Die Versuche haben gezeigt, dass bei den vier ausgewählten Versuchskraftstoffen die HUC-Werte gegenüber der Veränderung einzelner motorischer Versuchsbedingungen sich stark ändern, während die Oktanzahlen (mit Ausnahme des Crackbenzins) annähernd gleich bleiben. Da nun beim Otto-Prozess der thermische Wirkungsgrad (adiabatische Kompression vorausgesetzt) eine Funktion des Verdichtungsverhältnisses ist

$$\eta_{th} = 1 - \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{K-1} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

d.h. von der Temperatur-Differenz des Gasgemisches im Zylinder zwischen Anfang und Ende des Kompressionshubes abhängt, so kann daraus gefolgert werden, dass, wenn eine Versuchsbedingung geändert wird, bei Grösserwerden dieser Temperatur-Differenz, also der Zunahme des thermischen Wirkungsgrades, das Verdichtungsverhältnis bei dem zu untersuchenden Brennstoff sich erhöht. Es erniedrigt sich, wenn die Temperaturdifferenz geringer wird. Aus der Höhe des thermischen Wirkungsgrades kann demnach auf die Änderung der Verdichtungsmöglichkeit des zu untersuchenden Brennstoffes geschlossen werden.

In der folgenden Tabelle sind die thermischen Wirkungsgrade der Brennstoffe A - D in Abhängigkeit der Drehzahl errechnet worden, wobei die effektive Leistung und der Brennstoffverbrauch der Tabelle 4 entnommen wurden. Zur Bestimmung der indizierten Leistung wurde die Antriebsleistung des CFR-Motors dadurch ermittelt, dass er unter den Versuchsbedingungen fremd angetrieben wurde.

Tabelle 13.

Thermischer Wirkungsgrad der Brennstoffe A - D der Tabelle 4 bei veränderlicher Drehzahl.

Brennstoff	Drehzahl U.p.M.	Indizierte Leistung PSi	η th %
A	600	3,87	28,0
	700	4,99	32,1
	800	5,81	34,1
	900	6,63	36,8
B	600	4,04	30,7
	700	5,08	34,0
	800	5,95	36,4
	900	6,87	38,8
C	600	4,11	31,7
	700	5,19	35,0
	800	6,09	37,6
	900	7,02	40,1
D	600	4,26	31,6
	700	5,33	34,8
	800	6,27	37,4
	900	7,16	40,3

Der thermische Wirkungsgrad bei diesen Versuchen nimmt bei allen Brennstoffen mit steigender Drehzahl zu. Da die obere Grenze für die Kompressions-Endtemperatur durch die Selbstzündung des Gemisches gegeben ist und diese gleichbleibt, weil in vorliegendem Falle die Verdichtung immer so weit erhöht wurde, bis ein Klopfen von gleichstarker Intensität auftrat, so muss die Temperatur am Anfang der Verdichtung mit Steigerung der Drehzahl kleiner geworden sein. Die Temperatur des Gasgemisches liegt unter der Temperatur der Luft im Ansaugstutzen, die auf 30°C konstant gehalten wurde, weil bei der Vermischung des Brennstoffes mit der Luft das Gasgemisch Wärme aufnimmt. Nach Eintritt des Gasgemisches in den Zylinder setzt sich der Vergasungsprozess fort, weil fernerhin Wärme von der Zylinderwand aufgenommen wird. Da nun infolge der angewandten Verdampfungskühlung trotz der Steigerung der Drehzahl die Zylinderwandtemperatur als konstant vorausgesetzt werden kann, so ist für das Niedrigerwerden der Temperatur des Gasgemisches am Ende des Ansaughubes nur die Zeit verantwortlich; je höher die Drehzahl des Motors ist, desto geringere Zeit steht zur Wärmeaufnahme zur Verfügung. Daher kann man annehmen, dass mit Steigerung der Drehzahl die Temperatur des Gasgemisches am Anfang des Verdichtungshubes heruntergeht. Da, wie aus Tabelle 13 hervorgeht, mit Grösserwerden der Drehzahl der thermische Wirkungsgrad zunimmt, und dies nur durch

Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses erreicht wird, erklärt dies das Versuchsergebnis, dass die Klopffestigkeit für Brennstoffe mit wachsender Drehzahl grösser wird, sofern sie als HUC-Werte ermittelt werden. Wendet man dagegen die Vergleichsmethode an und bestimmt die Oktanzahlen für die einzelnen Brennstoffe bei veränderlicher Drehzahl, so bleiben diese innerhalb der Versuchsgenauigkeit gleich, weil die Oktanzahl im einzelnen Versuch bei einem konstanten Verdichtungsverhältnis ermittelt wird und nicht anzunehmen ist, dass der thermische Wirkungsgrad bei der exakten Einregulierung des Brennstoff/Luft-Gemisches des zu untersuchenden und des Vergleichsbrennstoffes bei diesem konstanten Verdichtungsverhältnis verschieden ausfällt.

Eine weitere Versuchsbedingung, die auf das Ergebnis der Klopffestigkeits-Bestimmungen von Brennstoffen Einfluss hat, ist die Raumtemperatur des Prüfstandes. Bei den vorliegenden Versuchen ist diese von einer normalen Temperatur aus stark erhöht worden, wobei die Erhöhung im Interesse der Versuchsergebnisse weiter getrieben wurde als es in der Praxis bei Anwendung von Vorwärmung im allgemeinen geschieht. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die in der direkten Methode gefundenen HUC-Werte mit Zunahme der Ansauglufttemperatur abfallen. Es erklärt sich dies daraus, dass die Temperatur-Differenz des Gasgemisches im Zylinder während des Kompressionshubes mit ansteigender Lufttemperatur geringer wird, sodass damit der thermische Wirkungsgrad abfällt bezw. die Verdichtung nicht, gleichstarkes Klopfen vorausgesetzt, mit Zunahme der Ansauglufttemperatur so weit wie anfänglich getrieben werden kann.

In Tabelle 14 sind die thermischen Wirkungsgrade der Brennstoffe A - D in Abhängigkeit von der Lufttemperatur unter Verwendung von Tabelle 7 errechnet worden.

Tabelle 14.

Thermischer Wirkungsgrad der Brennstoffe A - D der Tabelle 7 bei veränderlicher Lufttemperatur.

Brennstoff	Lufttemperatur °C	Indizierte Leistung PSI	η_{th} %
A	30	3,87	29,5
	60	3,63	29,5
	90	3,47	29,5
	120	3,32	29,2
B	30	3,96	29,5
	60	3,75	29,1
	90	3,58	29,0
	120	3,41	29,1
C	30	4,0	30,7
	60	3,78	30,7
	90	3,59	30,8
	120	3,42	31,3
D	30	4,05	32,0
	60	3,86	32,4
	90	3,67	32,8
	120	3,48	33,2

Bei den Brennstoffen A und B lässt der thermische Wirkungsgrad die Tendenz erkennen, dass er mit steigender Lufttemperatur sinkt. Da auch die gefundenen HUC-Werte nicht sehr stark abfallen, so ist der Einfluss dieser Versuchsbedingung auf die HUC-Bestimmung gering, sodass es sich kaum in der Höhe des thermischen Wirkungsgrades ausdrückt. Dies zeigt besonders die Errechnung des thermischen Wirkungsgrades der Brennstoffe C und D, wo er praktisch gleichbleibt.

Die in der Vergleichsmethode gefundenen Oktanzahlen der einzelnen Brennstoffe zeigen, dass der Einfluss auch dieser Versuchsbedingung auf die Oktanzahl äusserst gering ist.

Von bedeutend grösserem Einfluss ist dagegen die dritte untersuchte Versuchsbedingung, die in der Variation der Kühlung, d.h. der Zylindermanteltemperatur, bestand. Wenn man bedenkt, dass wassergekühlte Automobilmotoren normalerweise mit einer Kühlwassertemperatur betrieben werden, die noch bedeutend unter der Temperatur beim CFR-Motor liegt, während luftgekühlte Flugmotoren erheblich höhere Zylinderwandtemperaturen aufweisen dürften, so ist die praktische Bedeutung der Klärung dieser Frage gegeben. Bei den vorliegenden Versuchen wurde immer Verdampfungskühlung, d.h. bei jedem einzelnen Versuch eine konstante Zylinderwandtemperatur, angewandt, wobei der Bereich sich von ca. 50 bis 150°C erstreckte. Die Versuchsergebnisse bezüglich der HUC-Werte zeigen, dass bei Steigerung der Zylindermanteltemperatur die Klopffestigkeit erheblich nachlässt. Ausgehend von der Gleichung für den thermischen Wirkungsgrad, muss also der Einfluss der Wärmeaufnahme des Gasgemisches aus dem Zylindermantel erheblich stärker sein als der Einfluss der Wärmemenge, die aus der Ansaugluft herrührt.

Wenn nun wiederum der thermische Wirkungsgrad der Brennstoffe A.- D unter Verwendung der Tabelle 10 in Abhängigkeit von der Zylindermanteltemperatur errechnet wird, wie dies in der folgenden Tabelle 15 geschehen ist, so müsste hier entsprechend den gefundenen HUC-Zahlen der Wirkungsgrad mit Steigerung der Zylindermanteltemperatur abfallen.

Tabelle 15.

Thermischer Wirkungsgrad der Brennstoffe A-D der Tabelle 10 bei veränderlicher Zylindermanteltemperatur.

Brennstoff	Zylindermanteltemperatur °C	Indizierte Leistung PSi	η th %
A	56	4,09	27,4
	97	3,87	27,9
	122	3,68	26,5
	147	3,42	25,9
B	56	4,25	29,3
	97	4,0	29,9
	122	3,78	28,5
	147	3,54	27,3
C	56	4,28	29,7
	97	4,0	30,6
	122	3,81	29,2
	147	3,59	28,7
D	56	4,4	31,1
	97	4,16	31,8
	122	3,93	30,9
	147	3,71	29,5

Besonders bei den höheren Zylindermanteltemperaturen geht das Abfallen des thermischen Wirkungsgrades deutlich hervor, sodass die Beziehung des höchstmöglichen Verdichtungsverhältnisses zum thermischen Wirkungsgrad gegeben ist.

Die Oktanzahlen, die bei den vorliegenden Versuchen gewonnen wurden, zeigen im allgemeinen, sofern es sich um Straight Run-Benzine handelt, wiederum ein Gleichbleiben der Oktanzahlen. Dass bei dem Brennstoff A die Oktanzahlen ein wenig mit Steigerung der Zylindermanteltemperatur abfallen, dürfte auf die grössere Versuchsungenauigkeit zurückzuführen sein, die in der Ermittlung der Klopffestigkeit bei Brennstoffen niedriger Oktanzahl gegeben ist.

Der grosse Vorteil in der Einführung des CFR-Motors und der Oktanzahl liegt darin, dass durch die Anwendung der Vergleichsmethode das Resultat von dem jeweiligen Zustand des Motors und den Tageseinflüssen freigemacht ist. Selbstverständlich ist auch die Oktanzahl kein absoluter Begriff; sie ist an den Motor und seine speziellen Versuchsbedingungen gebunden, wenn auch nicht so stark wie das HUC-Verfahren, wie vorliegende Versuche ergeben haben.

Was die Wahl des Bezugkraftstoffes angeht, so wäre es ideal, Bezugskraftstoffe zu wählen, die in jeder Beziehung auf die verschiedenen Versuchsbedingungen (Temperatur, Zündung, Drehzahl) wie alle auf dem Markt befindlichen Treibstoffe reagieren. Solche Kraftstoffe sind leider nicht vorhanden. Man hat sich für Iso-Oktan als klopffesten Kraftstoff hauptsächlich deshalb entschlossen, weil alle anderen bekannten klopffesten Kraftstoffe (wie z.B. Benzol und Toluol) Aromaten und damit verhältnismässig empfindlich gegen Temperatur und Zündung sind, während die anderen bekannten Kraftstoffe (wie z.B. Anilin und die anderen Amine) keine Kohlenwasserstoffe sind und daher nicht immer rückstandslos verbrennen. Da nun leider infolge der Kostenfrage als Unterstandard wiederum Benzin/Benzol-Mischungen benutzt werden müssen, ist es bei Abänderung einer Versuchsbedingung unbedingt erforderlich, dass die einzelnen Unterstandard-Kraftstoffe auf Oktan/Heptan neu geeicht werden. Das wäre nicht nötig, wenn sich die Benzin/Benzol-Mischungen wie Oktan/Heptan verhalten würden. Der Einfluss der veränderten Versuchsbedingungen geht deutlich aus den Kurven der Fig. 12, 16 und 20 hervor. Dabei bleibt trotzdem verschieden erhaltenen Benzolwertes die Oktanzahl gleich, sofern es sich, wie die Untersuchungen gezeigt haben, um Straight Run-Benzine handelt, dagegen ändern sich die Oktanzahlen bei einem Crackbenzin, da sich dies gegenüber der Abänderung der Versuchsbedingungen ebenso anders wie die Benzin/Benzol-Mischungen verhält.-

-.-.-.-.-.-.-.-

L e b e n s l a u f .

Ich wurde am 17.Ic.1896 in Breslau geboren. Mein Vater war Prokurist der Automobilfabrik Otto Beckmann & Co., Breslau. Ich besuchte in der Vorschule die evangelische Realschule II und dann das Gymnasium zu St. Elisabet in Breslau, wo ich im August 1914 bei Ausbruch des Weltkrieges zur Reifeprüfung zugelassen wurde. Nach bestandener Prüfung trat ich als Kriegsfreiwilliger beim Grenadier-Regiment II, Breslau, ein, kam mit diesem Regiment ins Feld und nahm an den Kämpfen an der Westfront teil. Am 1. November 1915 wurde ich zum Infanterie-Regiment 51 versetzt, wo ich zum Leutnant der Reserve befördert wurde. Bei diesem Regiment befand ich mich an der Westfront, zuletzt als Kompagnieführer, bis zur Beendigung des Krieges 1918. An Auszeichnungen erhielt ich das Eiserne Kreuz I. und II. Klasse.-

Im Januar 1919 begann ich das Studium des Maschinenbaus an der Technischen Hochschule zu Breslau, an der ich seit 1916 immatrikuliert war, und bestand dort am 17. März 1922 die Diplom-Hauptprüfung. Anschliessend nahm ich eine Stellung als Konstrukteur in der Praxis an und war bei der Höchster Maschinen- und Armaturenfabrik vorm. A. Breuer & Co. und der Motorenfabrik Basse & Selve, Altena/Westf., tätig. Januar 1926 wurde ich Assistent am Maschinenlaboratorium der Technischen Hochschule, Breslau, in welcher Stellung ich mich bis zum 3o. Juni 1929 befand. In dieser Zeit beschäftigte ich mich schon mit der motorischen Untersuchung von Brennstoffen, welche Tätigkeit ich erneut in der Praxis fortsetzen konnte, indem ich am 1. Juli 1929 eine Stellung als Leiter des Motorenprüfstandes der Rhenania-Ossag Mineralölwerke Aktiengesellschaft annahm.-

Analysen der Brennstoffe A - D.

A.

		Siedeanalyse.	
Spez. Gewicht	0,739/15°, nach Sulf. 0,732	10 % bei	81°C
Dampfspannung	52 mm bei 0°C	20 % "	94 "
Bromzahl	0,4 g pro 100	30 % "	103,5 "
Aromaten	6,7 Gew. % 6,2	40 % "	113 "
Naphthene	18,6	50 % "	124 "
Paraffine	74,7	60 % "	135 "
Siedebeginn	48°	70 % "	145 "
Siedeende	204°	80 % "	156 "
		90 % "	172 "
		26 % "	100 "

B.

		Siedeanalyse.	
Spez. Gewicht	0,748/15°, nach Sulf. 0,736	10 % bei	76 °C
Dampfspannung	96 mm bei 0°C	20 % "	91,5 "
Bromzahl	0,6 g pro 100	30 % "	103,5 "
Aromaten	12,3 Gew. % 11,0	40 % "	114 "
Naphthene	26,3	50 % "	122,5 "
Paraffine	61,4	60 % "	131 "
Siedebeginn	39°	70 % "	142 "
Siedeende	190°	80 % "	153 "
		90 % "	167 "
		27 % "	100 "

C.

		Siedeanalyse.	
Spez. Gewicht	0,735/15°, nach Sulf. 0,741	10 % bei	61,5 °C
Dampfspannung	135 mm bei 0°C	20 % "	78 "
Bromzahl	75,1 g pro 100	30 % "	95 "
Aromaten	29,3 Gew. % 30,0	40 % "	110 "
Naphthene		50 % "	122,5 "
Paraffine	70,7	60 % "	134 "
Siedebeginn	32°	70 % "	142 "
Siedeende	190°	80 % "	159 "
		90 % "	172 "
		34 % "	100 "

D.

		Siedeanalyse.	
Spez. Gewicht	0,776/15°, nach Sulf. 0,743	10 % bei	79 °C
Dampfspannung	50 mm bei 0°C	20 % "	90 "
Bromzahl	0,8 g pro 100	30 % "	99 "
Aromaten	27,3 Gew. % 24,1	40 % "	108 "
Naphthene	38,3	50 % "	118 "
Paraffine	34,4	60 % "	130,5 "
Siedebeginn	49°	70 % "	145 "
Siedeende	200°	80 % "	162 "
		90 % "	178 "
		31 % "	100 "

Analyse des Brennstoffes A

CFR-Versuchsbericht Nr. 1

Versuchstag 26.5.33 Barometerstand 753,6 mm Hg (0°C)

Brennstoff	A			10 Bo/ 90 Bl			20 Bo/ 80 Bl		
Versuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Mikrometerstellung	0,564			0,564			0,564		
Kompressionsverhältnis	5,23:1			5,23:1			5,23:1		
Vergasereinstellung	1,7			1,45			1,4		
Zündung (° vor o. T.)	21,5			21,5			21,5		
Umdrehung pro Min.	600			600			600		
Volt	112	112	112	111	111	111	113	113	113
Ampères (total)	9,9	10,0	10,0	9,9	9,9	9,9	10,0	10,0	10,0
Temperatur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Öltemperatur, °C	58	58	57	58	58	58	58	58	57
Öldruck, lb. p. sq. in	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Raumtemperatur, °C	26	26	25	26	26	26	26	26	25
Klopfmeterausschlag	63	63	65	70	69	70	46	47	49
Klopfmeterausschlag Mittelwert	63,7			69,7			47,3		
Gasbürette, cm³/Min.	0,52	0,515	0,54	0,64	0,61	0,65	0,345	0,365	0,34
Gasbürette cm³/Min. Mittelwert	0,525			0,633			0,35		
Kühlwasser-Temperatur °C	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Relat. Luftfeuchtigkeit %	41	43	42,5	41,5	43	42	41	43	42,5

Klopffestigkeit 1) 13,2 Vol. % Reinbenzol + 86,8 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 43,3

Bemerkungen

HARBURG, den 26. Mai 1933.

Analyse des Brennstoffes A

CFR-Versuchsbericht Nr. 2

Versuchstag 26.5.33 — Barometerstand 753,6 mm Hg (0°C)

Brennstoff	A			10 Bo/ 90 Bl			20 Bo/ 80 Bl		
Versuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Mikrometerstellung	0,472			0,472			0,472		
Kompressionsverhältnis	5,64:1			5,64:1			5,64:1		
Vergasereinstellung	2,0			1,8			1,6		
Zündung (° vor o. T.)	19			19			19		
Umdrehung pro Min.	750			750			750		
Volt	127	126	125	125	125	125	127	127	127
Ampères (total)	11,2	11,2	11,2	11,1	11,0	11,1	11,3	11,3	11,3
Temperatur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Öltemperatur, °C	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Öldruck, lb. p. sq. in	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Raumtemperatur, °C	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Klopfmeterausschlag	56	58	59	70	75	74	36	39	40
Klopfmeterausschlag Mittelwert	57,7			73			38,3		
Gasbürette, cm³/Min.	0,445	0,46	0,46	0,56	0,63	0,62	0,205	0,26	0,28
Gasbürette cm³/Min. Mittelwert	0,455			0,603			0,248		
Kühlwasser-Temperatur °C	97	97	97	97	97	97	97	97	97
Relat. Luftfeuchtigkeit %	42,5	42,5	42	42,5	42,5	42	42,5	42,5	42

Klopffestigkeit 1) 14,3 Vol. % Reinbenzol + 85,7 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 42,6

Bemerkungen

HARBURG, den 26. Mai 1933.

nalyse des Brennstoffes A

FR-Versuchsbericht Nr. 3

suchstag 30.5.33 Barometerstand 760,4 mm Hg (0°C)

nstoff	A			10 Bo/ 90 Bl			20 Bo/ 80 Bl		
uch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ometerstellung	0,514			0,514			0,514		
pressionsverhältnis	5,45:1			5,45:1			5,45:1		
asereinstellung	2,4			1,75			2,4		
dung (° vor o. T.)	20,5			20,5			20,5		
rehung pro Min.	900			900			900		
	131	131	130	131	130	130	133	133	133
ères (total)	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,7	11,8	11,8
peratur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
mperatur, °C	62	61	61	62	61	61	62	61	61
ruck, lb. p. sq. in	32	32	32	32	32	32	32	32	32
ntemperatur, °C	25	25	25	25	25	25	25	25	25
kmeterausschlag	62	59	61	87	87	88	28	30	28
kmeterausschlag Mittelwert	60,7			87,3			28,7		
ürette, cm ³/Min.	0,44	0,48	0,52	0,78	0,76	0,76	0,145	0,17	0,18
ürette cm ³/Min. Mittelwert	0,48			0,767			0,165		
wasser-Temperatur °C	97	97	97	97	97	97	97	97	97
t. Luftfeuchtigkeit %	45	44	44	45	44	44	45	44	44

ffestigkeit 1) 14,7 Vol. % Reinbenzol + 85,3 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 41,5

erkungen

HARBURG, den 30. Mai 1933.

nalyse des Brennstoffes B

FR-Versuchsbericht Nr. 4

rsuchstag 20.4.33 — Barometerstand 759,5 mm Hg (0°C)

nnstoff	B			35 Bo/65 Bl			40 Bo/60 Bl		
rsuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
rometerstellung	0,551			0,551			0,551		
mpressionsverhältnis	5,29:1			5,29:1			5,29:1		
rgasereinstellung	2,0			1,25			1,4		
dung (° vor o. T.)	20,5			20,5			20,5		
drehung pro Min.	600			600			600		
t	115	115	115	115	115	115	117	117	117
pères (total)	10,2	10,2	10,2	10,2	10,1	10,2	10,4	10,4	10,4
mperatur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
temperatur, °C	57	57	57	57	57	57	57	57	57
druck, lb. p. sq. in	32	32	32	32	32	32	32	32	32
mtemperatur, °C	23	23	23	23	23	23	23	23	23
ckmeterausschlag	59	60	61	64	64	63	43	44	46
ckmeterausschlag Mittelwert	60			63,7			44,3		
bürette, cm³/Min.	0,45	0,48	0,46	0,49	0,52	0,505	0,29	0,30	0,29
bürette cm³/Min. Mittelwert	0,463			0,505			0,293		
lwasser-Temperatur °C	97	97	97	98	97	97	97	98	97
at. Luftfeuchtigkeit %	31	32	32	31	32	32	32	32	32

offestigkeit 1) 36,0 Vol. % Reinbenzol + 64,0 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 68,8

erkungen

HARBURG, den 20. April 1933.

Analyse des Brennstoffes B

CFR-Versuchsbericht Nr. 5

Versuchstag 24.5.33 Barometerstand 760,5 mm Hg (0°C)

Brennstoff	B			40 Bo/60 Bl			35 Bo/65 Bl		
Versuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Prüfmeterstellung	0,422			0,422			0,422		
Kompressionsverhältnis	5,84:1			5,84:1			5,84:1		
Vergasereinstellung	1,85			1,55			1,65		
Zündung (° vor o. T.)	18,5			18,5			18,5		
Umdrehung pro Min.	750			750			750		
Volt	129	129	129	130	130	130	127	127	127
Ampères (total)	11,4	11,3	11,3	11,4	11,5	11,5	11,2	11,2	11,2
Temperatur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Öltemperatur, °C	62	62	62	62	62	62	62	62	62
Öldruck, lb. p. sq. in	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Raumtemperatur, °C	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Klopfmeterausschlag	64	64	66	44	42	43	79	80	81
Klopfmeterausschlag Mittelwert	64,7			43,0			80,0		
Gasbürette, cm³/Min.	0,52	0,51	0,54	0,305	0,30	0,29	0,71	0,66	0,67
Gasbürette cm³/Min. Mittelwert	0,523			0,298			0,68		
Kühlwasser-Temperatur °C	97	97	97	97	97	97	97	97	97
Rel. Luftfeuchtigkeit %	30	29	29	30	29	28	30	29	28

Klopffestigkeit 1) 37,06 Vol. % Reinbenzol + 62,94 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 60,2

Bemerkungen

HARBURG, den 24. Mai 1933.

nalyse des Brennstoffes B

FR-Versuchsbericht Nr. 6

uchstag 30.5.33 Barometerstand 760,4 mm Hg (0°C)

nstoff	B			35 Bo/ 65 Bl			40 Bo/ 60 Bl		
uch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ometerstellung	0,407			0,407			0,407		
pressionsverhältnis	5,96:1			5,96:1			5,96:1		
asereinstellung	2,4			1,75			1,75		
ung (° vor o. T.)	18			18			18		
rehung pro Min.	900			900			900		
	135	135	135	135	135	135	136	136	136
öres (total)	11,9	11,9	11,9	12,0	11,9	11,9	12,1	12,1	12,1
peratur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
mperatur, °C	61	61	61	61	61	61	61	61	61
ruck, lb. p. sq. in	32	32	32	32	32	32	32	32	32
ttemperatur, °C	25	25	25	25	25	25	25	25	25
kmeterausschlag	56	54	51	90	90	92	45	42	43
kmeterausschlag Mittelwert	53,7			90,7			43,3		
ürette, cm ³/Min.	0,42	0,40	0,44	0,805	0,86	0,78	0,30	0,32	0,31
ürette cm ³/Min. Mittelwert	0,42			0,815			0,31		
vasser-Temperatur °C	97	97	97	97	97	97	97	97	97
Luftfeuchtigkeit %	46	46	46	46	46	46	46	46	46

ffestigkeit 1) 38,9 Vol. % Reinbenzol + 61,1 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 60,0

rkungen

HARBURG, den 30.Mai 1933.

Analyse des Brennstoffes C

CFR-Versuchsbericht Nr. 7

Versuchstag 27.12.32 Barometerstand 772,4 mm Hg (0°C)

Brennstoff	C			50 Bo/ 50 Bl			45 Bo/ 55 Bl		
Versuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Vergaserstellung	0,486			0,486			0,486		
Kompressionsverhältnis	5,58:1			5,58:1			5,58:1		
Vergasereinstellung	1,5			1,15			1,05		
Zündung (° vor o. T.)	19,5			19,5			19,5		
Motordrehung pro Min.	600			600			600		
Kopf	119	120	120	121	121	121	120	120	120
Ansaugleitung (total)	10,6	10,6	10,6	10,7	10,7	10,8	10,6	10,6	10,6
Temperatur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Gastemperatur, °C	56	56	57	56	56	57	56	56	57
Gasdruck, lb. p. sq. in	34	34	34	34	34	34	34	34	34
Raumtemperatur, °C	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Klopfmeterausschlag	69	66	67	53	55	54	79	75	77
Klopfmeterausschlag Mittelwert	67,3			54,0			77,0		
Meßbürette, cm³/Min.	0,535	0,55	0,545	0,39	0,41	0,39	0,64	0,645	0,65
Meßbürette cm³/Min. Mittelwert	0,543			0,397			0,645		
Kühlwasser-Temperatur °C	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Rel. Luftfeuchtigkeit %	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Klopffestigkeit 1) 47,1 Vol. % Reinbenzol + 52,9 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 70,2

Bemerkungen

HARBURG, den 27. Dezember 1932.

nalyse des Brennstoffes C

FR-Versuchsbericht Nr. 8

suchstag 24.5.33 — Barometerstand 760,5 mm Hg (0°C)

nnstoff	C			45 Bo/ 55 Bl			50 Bo/ 50 Bl		
such Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
rometerstellung	0,366			0,366			0,366		
npressionsverhältnis	6,2:1			6,2:1			6,2:1		
gasereinstellung	1,65			1,5			1,55		
dung (° vor o. T.)	17			17			17		
drehung pro Min.	750			750			750		
	130	129	130	130	129	129	132	132	131
bères (total)	11,4	11,3	11,4	11,4	11,3	11,3	11,5	11,5	11,6
nperatur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
temperatur, °C	62	62	62	62	62	62	62	62	62
druck, lb. p. sq. in	33	33	33	33	33	33	33	33	33
mtemperatur, °C	28	28	28	28	28	28	28	28	28
ckmeterausschlag	70	71	69	84	86	81	34	39	38
ckmeterausschlag Mittelwert	70			83,7			37		
bürette, cm³/Min.	0,62	0,58	0,54	0,81	0,79	0,76	0,225	0,265	0,28
bürette cm³/Min. Mittelwert	0,58			0,787			0,257		
wasser-Temperatur °C	97	97	97	97	97	97	97	97	97
t. Luftfeuchtigkeit %	30	29	29	30	29	29	30	29	29

bffestigkeit 1) 47,7 Vol. % Reinbenzol + 52,3 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 69

erkungen

HARBURG, den 24. Mai 1933.

Analyse des Brennstoffes C

CFR-Versuchsbericht Nr. 9

Versuchstag 31.5.33 Barometerstand 758,6 mm Hg (0°C)

Brennstoff	C			45 Bo/ 55 Bi			50 Bo/ 50 Bi		
Versuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Prüfmeterstellung	0,280			0,280			0,280		
Kompressionsverhältnis	6,77:1			6,77:1			6,77:1		
Vergasereinstellung	2,2			2,5			1,75		
Zündung (° vor o. T.)	16			16			16		
Motordrehung pro Min.	900			900			900		
Heat	139	139	138	139	139	138	140	140	140
Kilogrammètres (total)	12,3	12,3	12,2	12,3	12,3	12,2	12,4	12,4	12,4
Temperatur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Mischtemperatur, °C	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Kraftstoffdruck, lb. p. sq. in	34	34	34	34	34	34	34	34	34
Raumtemperatur, °C	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Klopfmeterausschlag	74	65	78	50	44	42	35	35	35
Klopfmeterausschlag Mittelwert	72,3			45,3			35		
Gasbürette, cm³/Min.	0,52	0,47	0,47	0,32	0,31	0,30	0,20	0,17	0,17
Gasbürette cm³/Min. Mittelwert	0,487			0,31			0,18		
Kühlwasser-Temperatur °C	97	97	97	97	97	97	97	97	97
Barom. Luftfeuchtigkeit %	48	48	48	48	48	48	48	48	48

Klopffestigkeit 1) 48,2 Vol. % Reinbenzol + 51,8 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 68

Bemerkungen

HARBURG, den 31. Mai 1933.

Analyse des Brennstoffes D

CFR-Versuchsbericht Nr. 10

Versuchstag 12.5.33 — Barometerstand 757,3 mm Hg (0°C)

Brennstoff	D			55 Bo/45 Bl			60 Bo/40 Bl		
Versuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Vergasereinstellung	0,393			0,393			0,393		
Kompressionsverhältnis	6,02:1			6,02:1			6,02:1		
Vergasereinstellung	1,75			1,55			2,1		
Zündung (° vor o. T.)	18			18			18		
Umdrehung pro Min.	600			600			600		
Kopf	117	116	117	116	117	117	118	119	119
Kompères (total)	10,3	10,4	10,3	10,4	10,3	10,3	10,5	10,6	10,6
Temperatur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Öltemperatur, °C	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Öldruck, lb. p. sq. in	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Raumtemperatur, °C	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Klopfmeterausschlag	44	45	46	52	51	52	18	20	17
Klopfmeterausschlag Mittelwert	45,0			51,7			18,3		
Meßbürette, cm³/Min.	0,305	0,31	0,32	0,35	0,36	0,38	0,065	0,07	0,07
Meßbürette cm³/Min. Mittelwert	0,312			0,363			0,07		
Kühlwasser-Temperatur °C	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Rel. Luftfeuchtigkeit %	30	30	31	30	31	31	30	31	31

Klopffestigkeit 1) 55,9 Vol. % Reinbenzol + 44,1 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 78,3

Bemerkungen

HARBURG, den 12. Mai 1933.

nalyse des Brennstoffes D

FR-Versuchsbericht Nr. 11

suchstag 3.6.33 Barometerstand 766,8 mm Hg (0°C)

nnstoff	D			55 Bo/45 Bi			60 Bo/40 Bi		
such Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
rometerstellung	0,285			0,285			0,285		
npressionsverhältnis	6,75:1			6,75:1			6,75:1		
gasereinstellung	2,3			1,60			1,75		
dung (° vor o. T.)	16,5			16,5			16,5		
drehung pro Min.	750			750			750		
	133	134	134	133	133	133	137	137	137
bères (total)	11,9	11,8	11,8	11,7	11,7	11,7	12,0	12,0	12,0
peratur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
emperatur, °C	57	57	57,5	57	57	57,5	57	57	57,5
druck, lb. p. sq. in	32	32	32	32	32	32	32	32	32
mtemperatur, °C	27	27	27,5	27	27	27,5	27	27	27,5
ckmeterausschlag	58	56	55	68	69	66	27	28	22
ckmeterausschlag Mittelwert	56,3			67,7			25,7		
bürette, cm ³/Min.	0,40	0,385	0,46	0,51	0,57	0,485	0,14	0,15	0,12
bürette cm ³/Min. Mittelwert	0,415			0,522			0,137		
wasser-Temperatur °C	97	97	97	97	97	97	97	97	97
t. Luftfeuchtigkeit %	43	42	42	43	42	42	43	42	42

ffestigkeit 1) 56,4 Vol. % Reinbenzol + 43,6 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 77,2

erkungen

HARBURG, den 3. Juni 1933.

nalyse des Brennstoffes D

FR-Versuchsbericht Nr. 12

suchstag 1.6.33 Barometerstand 761,7 mm Hg (0°C)

nnstoff	D			60 Bo/40 Bl			58 Bo/42 Bl		
such Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
rometerstellung	0,185			0,185			0,185		
npressionsverhältnis	7,58:1			7,58:1			7,58:1		
gasereinstellung	3,5			1,95			2,4		
dung (° vor o. T.)	14			14			14		
drehung pro Min.	900			900			900		
	142	142	142	145	146	146	144	144	145
bères (total)	12,6	12,5	12,5	12,8	12,8	12,8	12,6	12,6	12,7
peratur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
emperatur, °C	57	57	57	57	57	57	57	57	57
druck, lb. p. sq. in	31	31	31	31	31	31	31	31	31
mtemperatur, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
ckmeterausschlag	69	67	68	34	32	34	62	56	56
ckmeterausschlag Mittelwert	68			33,3			58		
bürette, cm ³/Min.	0,605	0,545	0,51	0,13	0,14	0,205	0,43	0,39	0,365
bürette cm ³/Min. Mittelwert	0,553			0,158			0,395		
wasser-Temperatur °C	97	97	97	97	97	97	97	97	97
t. Luftfeuchtigkeit %	36	36	35	36	36	35	36	36	35

offestigkeit 1) 56,9 Vol. % Reinbenzol + 43,1 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 76,5

erkungen

HARBURG, den 1. Juni 1933.

Analyse des Brennstoffes A

CFR-Versuchsbericht Nr. 13

Versuchstag 20.6.33 Barometerstand 746,5 mm Hg (0°C)

Brennstoff	A			20 Bo/ 80 Bl			10 Bo/ 90 Bl		
Versuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Klopfmeterstellung	0,665			0,665			0,665		
Kompressionsverhältnis	4,87:1			4,87:1			4,87:1		
Vergasereinstellung	1,8			2,1			1,75		
Zündung (° vor o. T.)	22,5			22,5			22,5		
Motordrehung pro Min.	600			600			600		
Gewicht	101	101	101	102	102	101	100	100	100
Ampères (total)	8, 9	8,9	8,8	9,0	9,0	9,0	8,9	8,9	8,9
Temperatur der Ansaugluft, °C	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Öltemperatur, °C	56	58	59	56	58	59	58	58	59
Öldruck, lb. p. sq. in	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Raumtemperatur, °C	24	25	25	24	25	25	24	24	25
Klopfmeterausschlag	72	70	71	57	57	57	80	79	80
Klopfmeterausschlag Mittelwert	71,0			57			79,7		
Gasbürette, cm³/Min.	0,525	0,52	0,535	0,385	0,385	0,40	0,64	0,625	0,68
Gasbürette cm³/Min. Mittelwert	0,527			0,39			0,648		
Kühlwasser-Temperatur °C	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Relat. Luftfeuchtigkeit %	45	45	45	45	45	45	45	45	45

Klopffestigkeit 1) 14,2 Vol. % Reinbenzol + 85,8 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 42,3

Bemerkungen

HARBURG, den 20. Juni 1933.

Analyse des Brennstoffes A

CFR-Versuchsbericht Nr. 14

Versuchstag 27.6.33 Barometerstand 751,8 mm Hg (0°C)

Brennstoff	A			10 Bo/ 90 Bi			20 Bo/ 80 Bi		
Versuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Mikrometerstellung	0,702			0,702			0,702		
Kompressionsverhältnis	4,75:1			4,75:1			4,75:1		
Vergasereinstellung	4,2			4,1			4,2		
Zündung (° vor o. T.)	24			24			24		
Umdrehung pro Min.	600			600			600		
Volt	102	101	100	101	101	101	102	102	102
Ampères (total)	9,0	8, 9	8,9	8,9	8,9	8,9	9,0	9,1	9,0
Temperatur der Ansaugluft, °C	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Öltemperatur, °C	59	58	58	59	58	58	59	58	58
Öldruck, lb. p. sq. in	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Raumtemperatur, °C	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Knockmeterausschlag	55	54	58	64	63	67	50	52	54
Knockmeterausschlag Mittelwert	55,7			64,7			52		
Gasbürette, cm ³/Min.	0,37	0,42	0,52	0,47	0,50	0,56	0,39	0,38	0,41
Gasbürette cm ³/Min. Mittelwert	0,437			0,51			0,393		
Kühlwasser-Temperatur °C	97	97	97	97	97	97	97	97	97
Relat. Luftfeuchtigkeit %	52	53	54	50	53	54	52	54	52

Klopffestigkeit 1) 16,6 Vol. % Reinbenzol + 83,4 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 42,0

Bemerkungen

HARBURG, den 27. Juni 1933.

Analyse des Brennstoffes B

CFR-Versuchsbericht Nr. 15

Versuchstag 7.6.33 Barometerstand 763,2 mm Hg (0°C)

Brennstoff	B			35 Bo/65 Bl			40 Bo/60 Bl		
Versuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Mikrometerstellung	0,585			0,585			0,585		
Kompressionsverhältnis	5,15:1			5,15:1			5,15:1		
Vergasereinstellung	2,1			1,6			1,5		
Zündung (° vor o. T.)	22			22			22		
Umdrehung pro Min.	600			600			600		
Volt	106	106	106	105	105	105	106	105	106
Ampères (total)	9,3	9,3	9,3	9,3	9,2	9,2	9,3	9,3	9,3
Temperatur der Ansaugluft, °C	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Öltemperatur, °C	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Öldruck, lb. p. sq. in	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Raumtemperatur, °C	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Klopfmeterausschlag	67	67	68	84	83	85	57	50	54
Klopfmeterausschlag Mittelwert	67,3			84			53,7		
Gasbürette, cm³/Min.	0,57	0,56	0,53	0,69	0,66	0,67	0,44	0,44	0,48
Gasbürette cm³/Min. Mittelwert	0,553			0,673			0,453		
Kühlwasser-Temperatur °C	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Relat. Luftfeuchtigkeit %	32	33	33	32	33	33	32	33	33

Klopffestigkeit 1) 37,7 Vol. % Reinbenzol + 62,3 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 60,0

Bemerkungen

HARBURG, den 7. Juni 1933.

Analyse des Brennstoffes B

CFR-Versuchsbericht Nr. 16

rsuchstag 27.6.33 — Barometerstand 751,8 mm Hg (0°C)

ennstoff	B			35 Bo/65 Bl			40 Bo/60 Bl		
rsuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
krometerstellung	0,58			0,58			0,58		
mpressionsverhältnis	5,17:1			5,17:1			5,17:1		
rgasereinstellung	4,3			3,9			4,1		
ndung (° vor o. T.)	21,5			21,5			21,5		
ndrehung pro Min.	600			600			600		
lt	103	103	103	101	102	102	105	104	104
npères (total)	9,1	9,1	9,1	9,0	9,0	9,0	9,2	9,1	9,2
mperatur der Ansaugluft, °C	120	120	120	120	120	120	120	120	120
ltemperatur, °C	58	58	58	58	58	58	58	58	58
ldruck, lb. p. sq. in	32	32	32	32	32	32	32	32	32
umtemperatur, °C	23	24	24	23	24	24	23	24	24
ockmeterausschlag	50	50	60	90	91	87	62	58	62
ockmeterausschlag Mittelwert	53,3			89,3			60,7		
sbürette, cm³/Min.	0,36	0,43	0,48	0,80	0,83	0,75	0,47	0,46	0,44
sbürette cm³/Min. Mittelwert	0,423			0,793			0,457		
hlwasser-Temperatur °C	97	97	97	97	97	97	97	97	97
lat. Luftfeuchtigkeit %	49	49	47	49	48	47	50	48	44

opffestigkeit 1) 40,9 Vol. % Reinbenzol + 59,1 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 61,3

merkungen

HARBURG, den 27. Juni 1933.

nalyse des Brennstoffes C

FR-Versuchsbericht Nr. 17

'suchstag 7.6.33 Barometerstand 764,3 mm Hg (0°C)

nnstoff	C			45 Bo/ 55 Bl			50 Bo/ 50 Bl		
'such Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
rometerstellung	0,549			0,549			0,549		
npressionsverhältnis	5,29:1			5,29:1			5,29:1		
gasereinstellung	1,65			1,85			1,7		
dung (° vor o. T.)	21			21			21		
drehung pro Min.	600			600			600		
t	108	108	107	107	108	107	109	108	108
pères (total)	9,6	9,5	9,6	9,5	9,6	9,5	9,6	9,6	9,7
nperatur der Ansaugluft, °C	90	90	90	90	90	90	90	90	90
temperatur, °C	58	59	60	58	59	60	58	59	60
druck, lb. p. sq. in	32	32	32	32	32	32	32	32	32
mtemperatur, °C	25	24	25	25	24	25	25	24	25
ckmeterausschlag	72	73	73	86	89	85	61	62	64
ckmeterausschlag Mittelwert	72,7			86,7			62,3		
bürette, cm ³/Min.	0,64	0,59	0,60	0,74	0,77	0,80	0,48	0,53	0,54
bürette cm ³/Min. Mittelwert	0,61			0,77			0,517		
lwasser-Temperatur °C	98	98	98	98	98	98	98	98	98
t. Luftfeuchtigkeit %	41	41	38	41	41	38	41	41	38

offestigkeit 1) 48,0 Vol. % Reinbenzol + 52,0 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 68,7

erkungen

HARBURG, den 7. Juni 1933.

Analyse des Brennstoffes C

CFR-Versuchsbericht Nr. 18

Versuchstag 27.6.33 — Barometerstand 751,8 mm Hg (0°C)

Brennstoff	C			45 Bo/55 Bl			50 Bo/50 Bl		
Versuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Mikrometerstellung	0,495			0,495			0,495		
Kompressionsverhältnis	5,53:1			5,53:1			5,53:1		
Luftgasereinstellung	4,2			3,9			4,0		
Zündung (° vor o. T.)	19,5			19,5			19,5		
Umdrehung pro Min.	600			600			600		
Volt	103	103	103	102	101	102	105	105	106
Ampères (total)	9,2	9,2	9,2	9,1	9,0	9,1	9,3	9,3	9,4
Temperatur der Ansaugluft, °C	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Öltemperatur, °C	58	58	60	58	58	60	58	58	60
Öldruck, lb. p. sq. in	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Raumtemperatur, °C	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Klopfmeterausschlag	71	71	70	88	100	102	57	64	60
Klopfmeterausschlag Mittelwert	70,7			96,7			60,3		
Gasbürette, cm³/Min.	0,56	0,60	0,59	0,79	0,93	1,01	0,54	0,56	0,54
Gasbürette cm³/Min. Mittelwert	0,583			0,91			0,547		
Kühlwasser-Temperatur °C	97	97	97	97	97	97	97	97	97
Barom. Luftfeuchtigkeit %	70	69	70	69	69	70	70	69	70

Klopffestigkeit 1) 49,0 Vol. % Reinbenzol + 51,0 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 68,3

Bemerkungen

HARBURG, den 27. Juni 1933.

nalyse des Brennstoffes D

CFR-Versuchsbericht Nr. 19

rsuchstag 8.6.33 Barometerstand 763,7 mm Hg (0°C)

onnstoff	D			55 Bo/45 Bl			60 Bo/40 Bl		
rsuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
krometerstellung	0,492			0,492			0,492		
mpressionsverhältnis	5,55:1			5,55:1			5,55:1		
rgasereinstellung	2,45			1,65			1,75		
ndung (° vor o. T.)	19,5			19,5			19,5		
drehung pro Min.	600			600			600		
t	109	109	109	109	108	109	110	109	109
pàres (total)	9,7	9,6	9,7	9,6	9,6	9,6	9,8	9,7	9,7
mperatur der Ansaugluft, °C	90	90	90	90	90	90	90	90	90
temperatur, °C	59	59	59	59	59	59	59	59	59
druck, lb. p. sq in	28	27	27	28	27	27	28	27	27
umtemperatur, °C	28	28	28	28	28	28	28	28	28
ckmeterausschlag	62	63	66	86	88	86	45	45	50
ckmeterausschlag Mittelwert	63,7			86,7			46,7		
sbürette, cm ³/Min.	0,56	0,57	0,64	0,77	0,82	0,80	0,345	0,35	0,44
sbürette cm ³/Min. Mittelwert	0,59			0,797			0,378		
lwasser-Temperatur °C	98	98	98	98	98	98	98	98	98
at. Luftfeuchtigkeit %	36	37	36	36	37	36	36	37	36

pffestigkeit 1) 57,7 Vol. % Reinbenzol + 42,3 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 77,8

nerkungen

HARBURG, den 8. Juni 1933.

Analyse des Brennstoffes D

CFR-Versuchsbericht Nr. 20

Versuchstag 27.6.33 Barometerstand 751,8 mm Hg (0°C)

Brennstoff	D			60 Bo/ 40 Bl			55 Bo/ 45 Bl		
Versuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Mikrometerstellung	0,44			0,44			0,44		
Kompressionsverhältnis	5,79:1			5,79:1			5,79:1		
Vergasereinstellung	4,3			4,0			4,1		
Zündung (° vor o. T.)	18,5			18,5			18,5		
Umdrehung pro Min.	600			600			600		
Volt	107	107	107	107	107	106	103	103	102
Ampères (total)	9,5	9,5	9,5	9,4	9,4	9,4	9,1	9,1	9,1
Temperatur der Ansaugluft, °C	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Heiltemperatur, °C	57	57	56	57	57	56	57	57	56
Heildruck, lb. p. sq. in	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Raumtemperatur, °C	22	23	23	22	23	23	22	23	23
Klopfmeterausschlag	47	48	48	31	32	37	86	83	86
Klopfmeterausschlag Mittelwert	47,7			33,3			85		
Gasbürette, cm³/Min.	0,35	0,36	0,36	0,14	0,185	0,21	0,81	0,77	0,85
Gasbürette cm³/Min. Mittelwert	0,357			0,178			0,81		
Kühlwasser-Temperatur °C	97	97	97	97	97	97	97	97	97
Relat. Luftfeuchtigkeit %	66	62	57	66	64	58	65	58	57

Klopffestigkeit 1) 58,6 Vol. % Reinbenzol + 41,4 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 77,6

Bemerkungen

HARBURG, den 27. Juni 1933.

nalyse des Brennstoffes A

FR-Versuchsbericht Nr. 21

suchstag 2.8.33 Barometerstand 763,7 mm Hg (C°C)

nstoff	A			10 Bo/ 90 Bl			15 Bo/ 85 Bl		
such Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
rometerstellung	0,47			0,47			0,47		
pressionsverhältnis	5,65:1			5,65:1			5,65:1		
gasereinstellung	1,75			1,55			1,55		
dung (° vor o. T.)	19,5			19,5			19,5		
drehung pro Min.	600			600			600		
	119	119	119	119	119	118	119	120	120
bères (total)	10,5	10,6	10,6	10,5	10,6	10,5	10,6	10,7	10,6
peratur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
emperatur, °C	50	50	50	50	50	50	50	50	50
druck, lb. p. sq. in	33	33	33	33	33	33	33	33	33
mtemperatur, °C	21	21	21	21	21	21	21	21	21
ckmeterausschlag	45	46	45	50	49	50	44	43	45
ckmeterausschlag Mittelwert	45,3			49,7			44		
bürette, cm ³/Min.	0,36	0,38	0,36	0,38	0,42	0,425	0,35	0,34	0,36
bürette cm ³/Min. Mittelwert	0,367			0,408			0,35		
wasser-Temperatur °C	56	56	56	56	56	56	56	56	56
t. Luftfeuchtigkeit %	87	85	85	87	85	84	86	85	83

offestigkeit 1) 13,7 Vol. % Reinbenzol + 86,3 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 45,5

erkungen

HARBURG, den 2. August 1933.

nalyse des Brennstoffes A

FR-Versuchsbericht Nr. 22

rsuchstag 1.8.33 Barometerstand 753,3 mm Hg (0°C)

nnstoff	A			10 Bo/ 90 Bl			15 Bo/ 85 Bl		
rsuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
rometerstellung	0,835			0,835			0,835		
mpressionsverhältnis	4,37:1			4,37:1			4,37:1		
rgasereinstellung	1,9			1,95			1,85		
dung (° vor o. T.)	27			27			27		
drehung pro Min.	600			600			600		
t	100	102	101	100	102	101	101	102	102
pères (total)	8,9	8,9	8,9	8,8	9,0	8,9	9,0	9,1	9,1
mperatur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
temperatur, °C	65	66	66	66	66	66	66	66	66
druck, lb. p. sq. in	30	30	30	30	30	30	30	30	30
mtemperatur, °C	26	26	26	26	26	26	26	26	26
ckmeterausschlag	55	57	56	63	59	58	50	48	49
ckmeterausschlag Mittelwert	56			60			49		
bürette, cm ³/Min.	0,50	0,46	0,485	0,545	0,49	0,52	0,415	0,38	0,40
bürette cm ³/Min. Mittelwert	0,482			0,518			0,398		
lwasser-Temperatur °C	149	149	149	149	149	149	149	149	149
at. Luftfeuchtigkeit %	59	57	54	57	55	54	57	59	56

pffestigkeit 1) 11,7 Vol. % Reinbenzol + 88,3 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 41,8

erkungen

HARBURG, den 1. August 1933.

nalyse des Brennstoffes B

FR-Versuchsbericht Nr. 23

rsuchstag 2.8.33 Barometerstand 763,7 mm Hg (0°C)

nnstoff	B			35 Bo/65 Bl			30 Bo/70 Bl		
rsuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
rometerstellung	0,365			0,365			0,365		
mpressionsverhältnis	6,19:1			6,19:1			6,19:1		
gasereinstellung	1,5			1,5			1,5		
dung (° vor o. T.)	17			17			17		
drehung pro Min.	600			600			600		
t	123	121	123	123	122	123	122	121	122
pères (total)	10,9	10,7	10,8	10,9	10,8	10,9	10,8	10,7	10,8
nperatur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
temperatur, °C	52	53	53	52	53	53	52	53	53
druck, lb. p. sq. in	32	32	32	32	32	32	32	32	32
mtemperatur, °C	22	22	22	22	22	22	22	22	22
ckmeterausschlag	56	63	58	51	53	52	63	66	62
ckmeterausschlag Mittelwert	59			52			63,7		
bürette, cm ³/Min.	0,50	0,54	0,53	0,46	0,50	0,46	0,545	0,625	0,59
bürette cm ³/Min. Mittelwert	0,523			0,473			0,587		
lwasser-Temperatur °C	56	56	56	56	56	56	56	56	56
t. Luftfeuchtigkeit %	82	82	81	80	82	80	82	81	82

pffestigkeit 1) 32,4 Vol. % Reinbenzol + 67,6 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 60,0

erkungen

HARBURG, den 2. August 1933.

nalyse des Brennstoffes B

FR-Versuchsbericht Nr. 24

suchstag 1.8.33 Barometerstand 753,3 mm Hg (0°C)

nstoff	B			35 Bo/ 65 Bl			40 Bo/ 60 Bl		
such Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ometerstellung	0,686			0,686			0,686		
pressionsverhältnis	4,8:1			4,8:1			4,8:1		
gasereinstellung	1,8			1,8			1,7		
dung (° vor o. T.)	23,5			23,5			23,5		
drehung pro Min.	600			600			600		
	106	106	106	105	105	105	107	106	107
ères (total)	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,2	9,4	9,4	9,4
peratur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
emperatur, °C	67	67	66	67	67	66	67	67	66
ruck, lb. p. sq. in	30	30	30	30	30	30	30	30	30
ntemperatur, °C	26	25	26	26	25	26	26	25	26
ckmeterausschlag	57	59	59	60	62	60	44	45	47
ckmeterausschlag Mittelwert	58,3			60,7			45,3		
ürette, cm ³/Min.	0,55	0,505	0,56	0,575	0,55	0,60	0,40	0,37	0,38
ürette cm ³/Min. Mittelwert	0,538			0,575			0,383		
wasser-Temperatur °C	149	149	149	149	149	149	149	149	149
t. Luftfeuchtigkeit %	54	70	68	56	70	73	60	70	67

ffestigkeit 1) 35,9 Vol. % Reinbenzol + 64,1 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 60,0

erkungen

HARBURG, den 1. August 1933.

nalyse des Brennstoffes D

FR-Versuchsbericht Nr. 29

suchstag 3.8.33 Barometerstand 767,9 mm Hg (0°C)

nstoff	D			50 Bo/ 50 Bl			55 Bo/ 45 Bl		
such Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
cmetersteilung	0,281			0,281			0,281		
pressionsverhältnis	6,77:1			6,77:1			6,77:1		
asereinstellung	1,55			1,55			1,5		
dung (° vor o. T.)	15,5			15,5			15,5		
rehung pro Min.	600			600			600		
	127	128	127	127	127	127	129	129	129
ères (total)	11,2	11,3	11,3	11,2	11,2	11,2	11,4	11,4	11,4
peratur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
mperatur, °C	57	57	57	57	57	57	57	57	57
ruck, lb. p. sq. in	32	32	32	32	32	32	32	32	32
ntemperatur, °C	25	26	26	25	26	26	25	26	26
kmeterausschlag	50	51	47	56	60	55	42	43	36
kmeterausschlag Mittelwert	49,3			57,0			40,3		
ürette, cm ³/Min.	0,39	0,405	0,395	0,52	0,57	0,53	0,375	0,375	0,28
ürette cm ³/Min. Mittelwert	0,397			0,54			0,343		
wasser-Temperatur °C	56	56	56	56	56	56	56	56	56
. Luftfeuchtigkeit %	56	55	55	56	55	55	55	55	55

ffestigkeit 1) 53,0 Vol. % Reinbenzol + 47,0 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 77,6

rkungen

HARBURG, den 3. August 1933.

Analyse des Brennstoffes D

CFR-Versuchsbericht Nr. 30

ersuchstag 1.8.33 Barometerstand 754,3 mm Hg (0°C)

rennstoff	D			55 Bo/ 45 Bl			60 Bo/ 40 Bl		
ersuch Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ikrometerstellung	0,524			0,524			0,524		
ompressionsverhältnis	5,40:1			5,40:1			5,40:1		
ergasereinstellung	1,95			1,75			1,65		
ündung (° vor o. T.)	20,5			20,5			20,5		
mdrehung pro Min.	600			600			600		
olt	109	108	108	107	105	104	110	109	109
mpères (total)	9,6	9,5	9,5	9,4	9,3	9,2	9,7	9,7	9,6
emperatur der Ansaugluft, °C	30	30	30	30	30	30	30	30	30
eltemperatur, °C	65	64	64	65	64	64	65	64	64
eldruck, lb. p. sq. in	31	31	31	31	31	31	31	31	31
aumtemperatur, °C	27	26	26	27	26	26	27	26	26
nockmeterausschlag	49	50	50	63	67	60	34	32	32
nockmeterausschlag Mittelwert	49,7			63,3			32,7		
asbürette, cm³/Min.	0,42	0,39	0,42	0,59	0,605	0,54	0,27	0,22	0,26
asbürette cm³/Min. Mittelwert	0,41			0,578			0,25		
ühlwasser-Temperatur °C	149	149	149	149	149	149	149	149	149
elat. Luftfeuchtigkeit %	74	67	69	74	66	68	70	68	68

opffestigkeit 1) 57,4 Vol. % Reinbenzol + 42,6 Vol. % Wood River Fuel

2) Oktanzahl 78,2

emerkungen

HARBURG, den 1. August 1933.

Fig. 1

Siedeanalysen

Brennstoff A - D

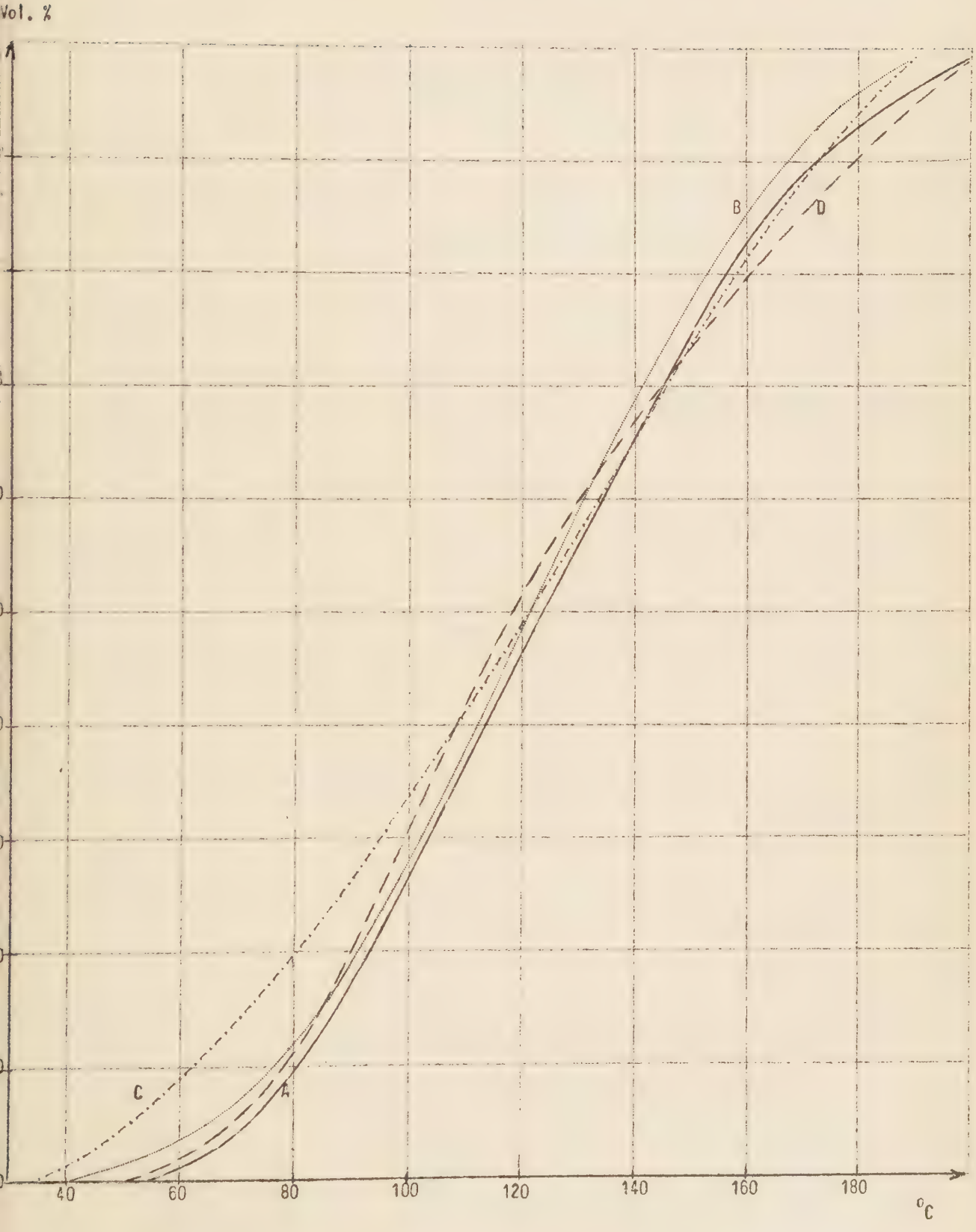


Fig. 2

Oktanzahlen von Autotreibstoffen, deren motorisches Verhalten in einem 4-Zylinder-Automobilmotor gleich war.

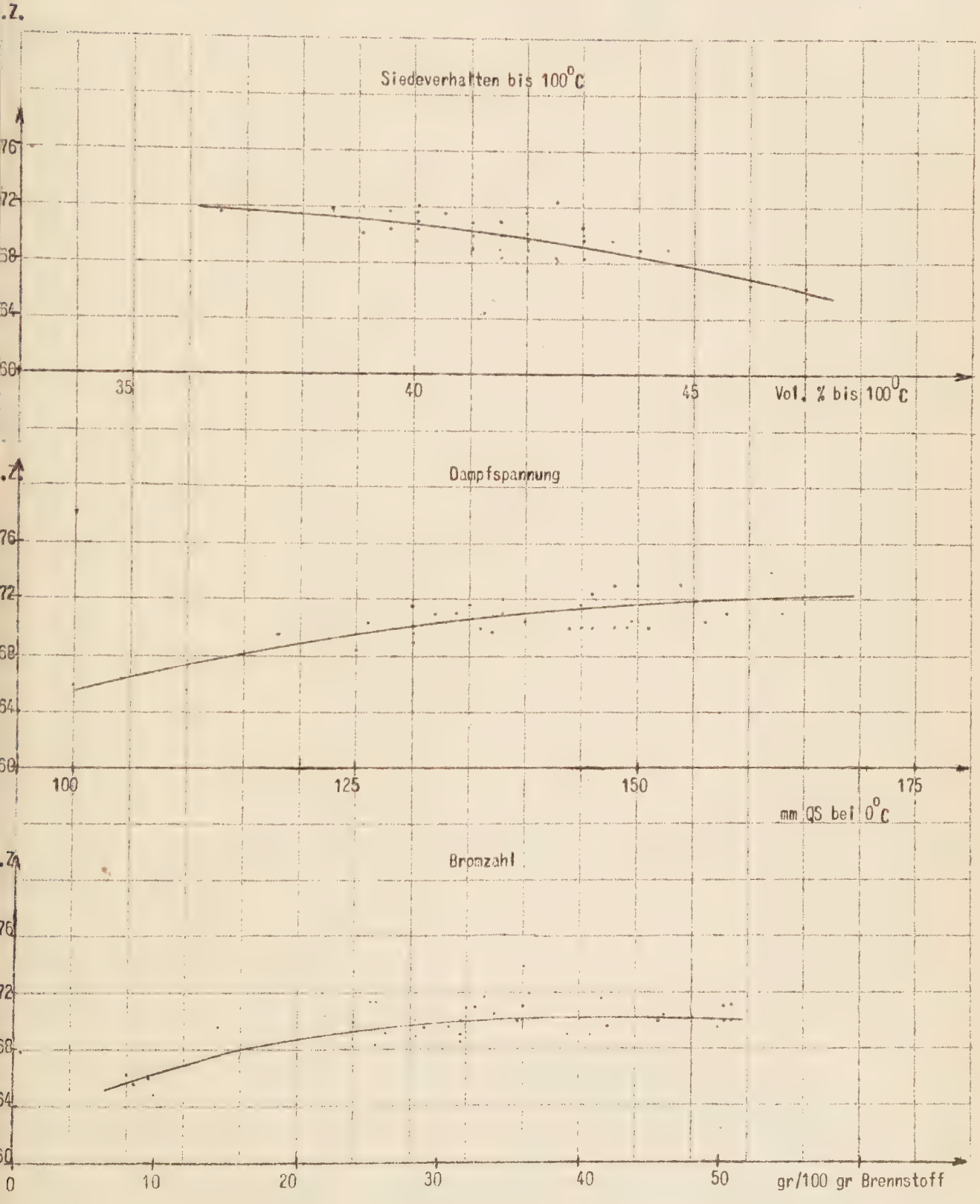


Fig. 3

Brennstoff A

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: 600 U.p.M.; ε = 4,9 : 1; Zündung 23° vor o.T.; Lufttemp. 50°C; Barometerstand 761,1 mm QS bei 0°C; Luftfeuchtigkt. 40% bei 24° Raumtemp.

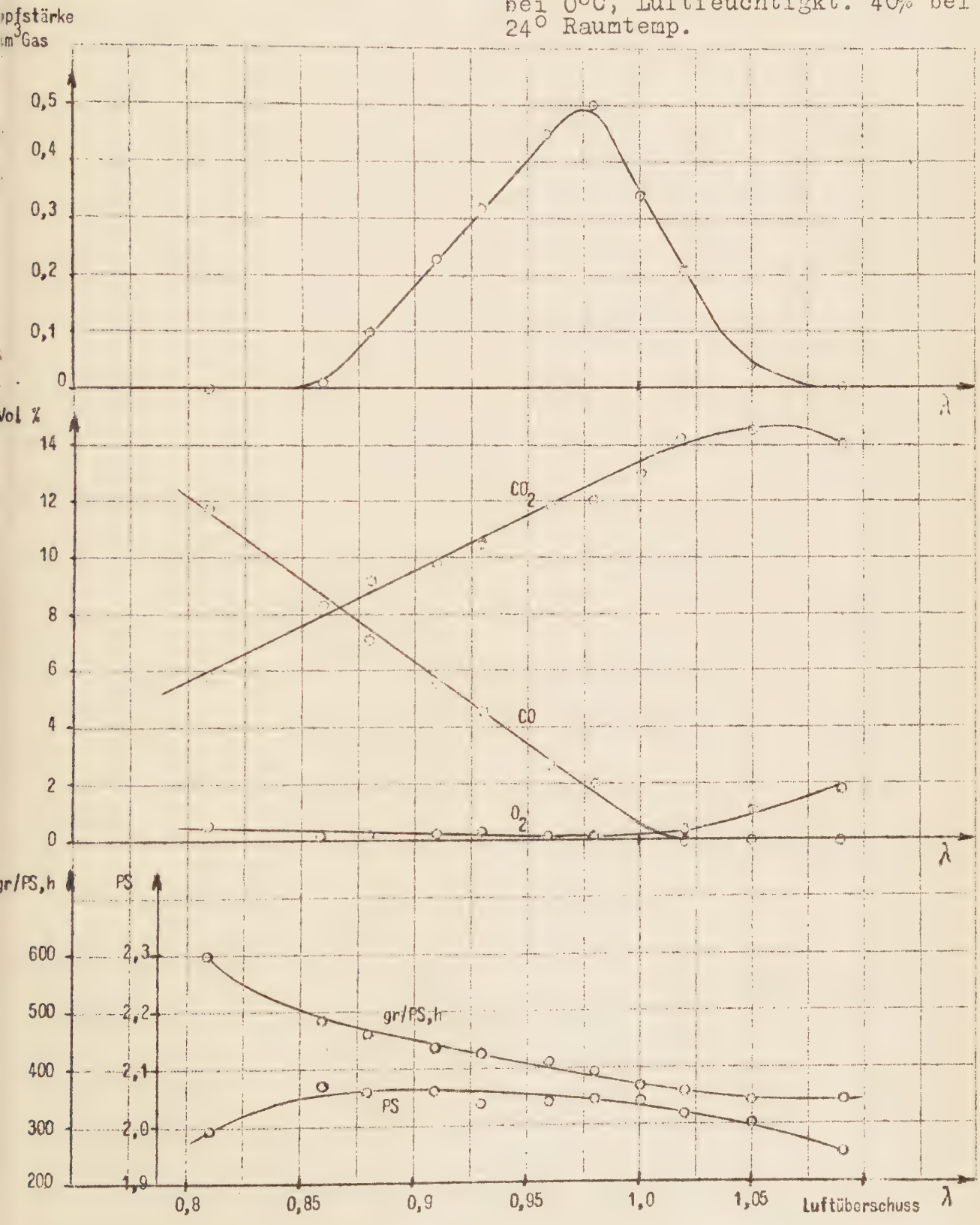


Fig. 4

Brennstoff B

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: 600 U.p.M.; $\varepsilon = 5{,}33 : 1$; Zündung 21° vor o.T.; Lufttemp. 50°C; Barometerstand 762,8 mm QS bei 0°C; Luftfeuchtigkt. 30% bei 31° Raumtemp.

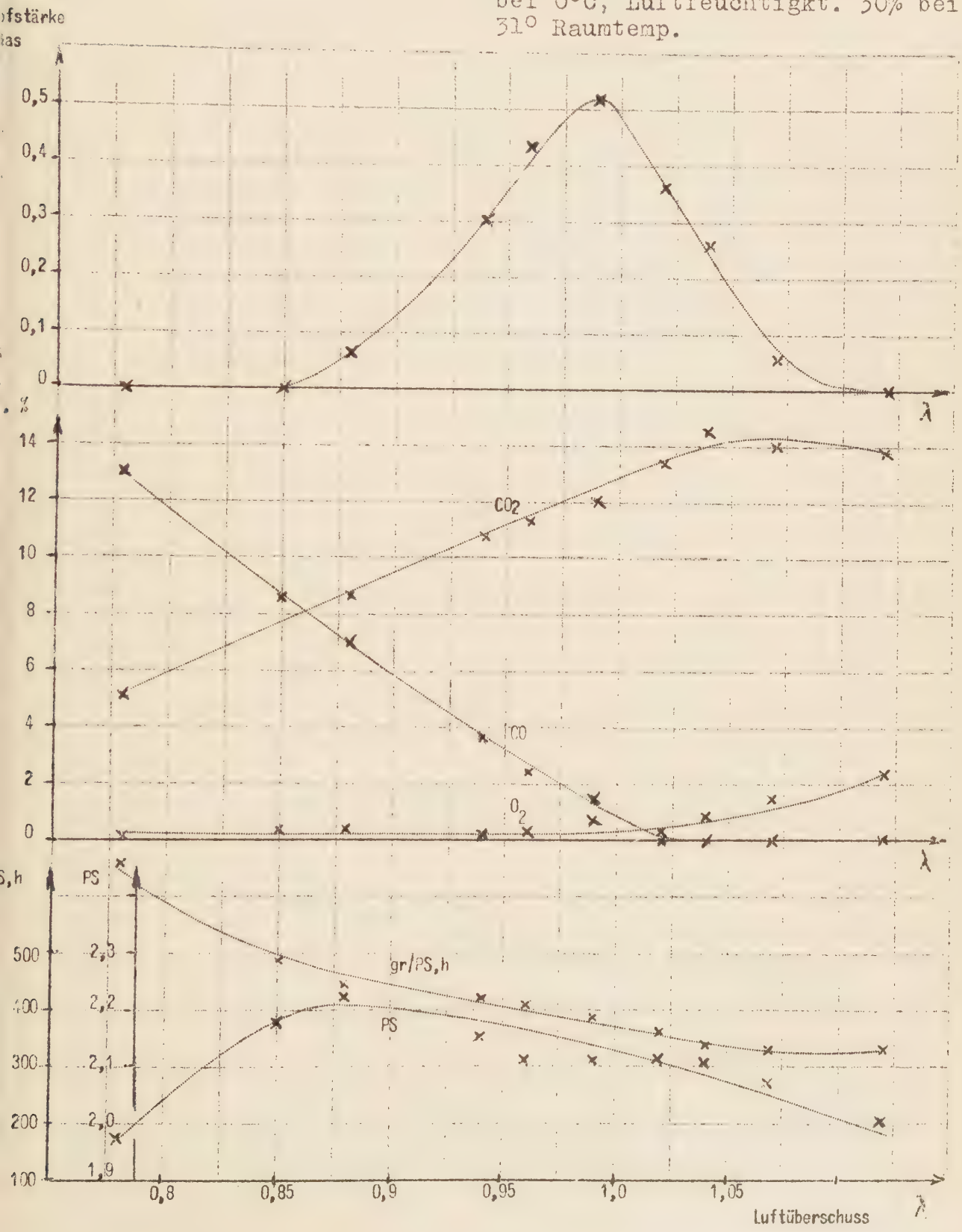


Fig. 5

Brennstoff C

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: 600 U.p.M.; ε = 5,72 : 1; Zündung 19,5° vor o.T.; Lufttemp. 50°C; Barometerstand 754,8 mm QS bei 0°C; Luftfeuchtigkt. 27% bei 30° Raumtemp.

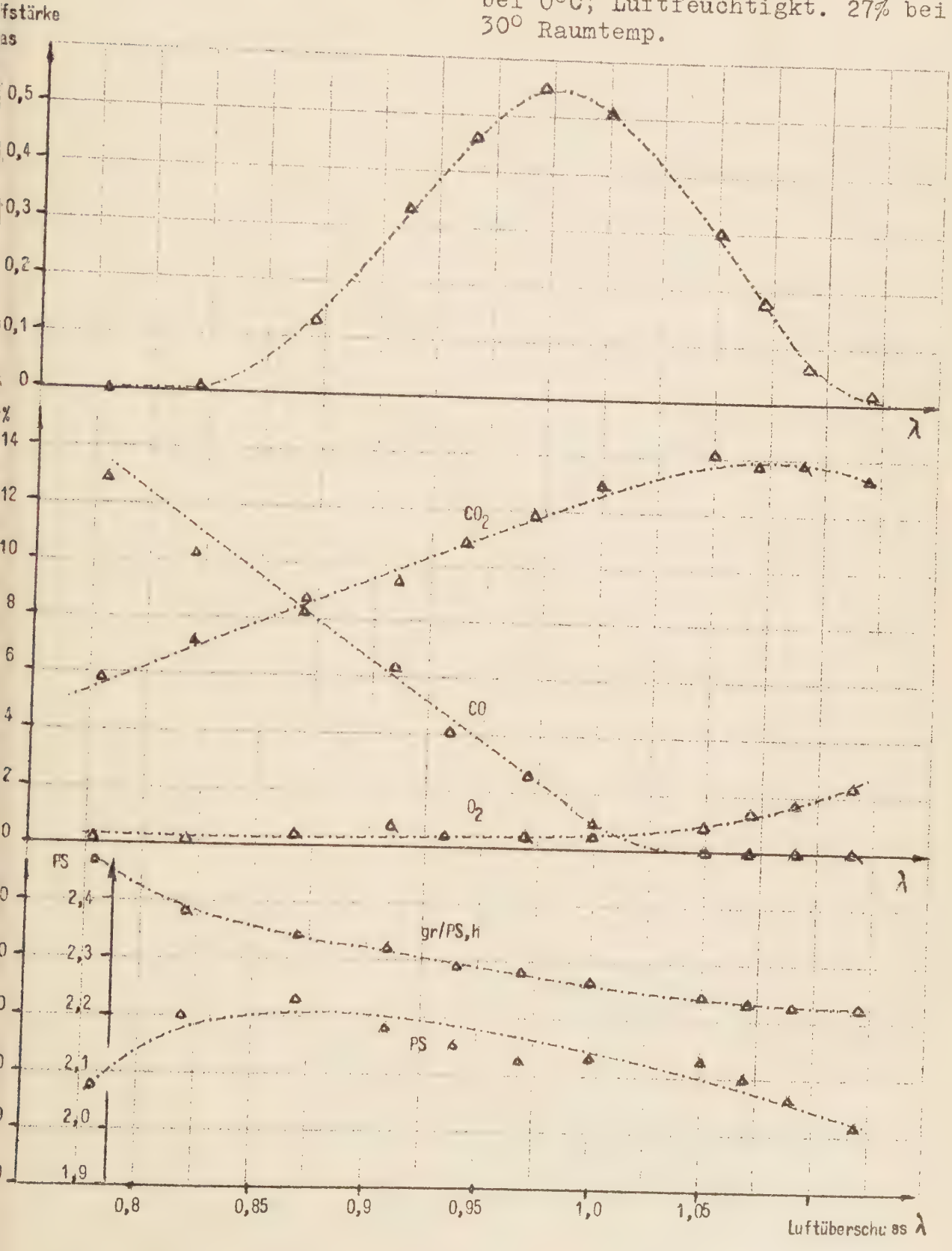


Fig. 6

Brennstoff D

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: 600 U.p.M.; ε = 6,03 : 1; Zündung 18° vor o.T.; Lufttemp. 50°C; Barometerstand 765,7 mm QS bei 0°C; Luftfeuchtigkt. 37% bei 27° Raumtemp.

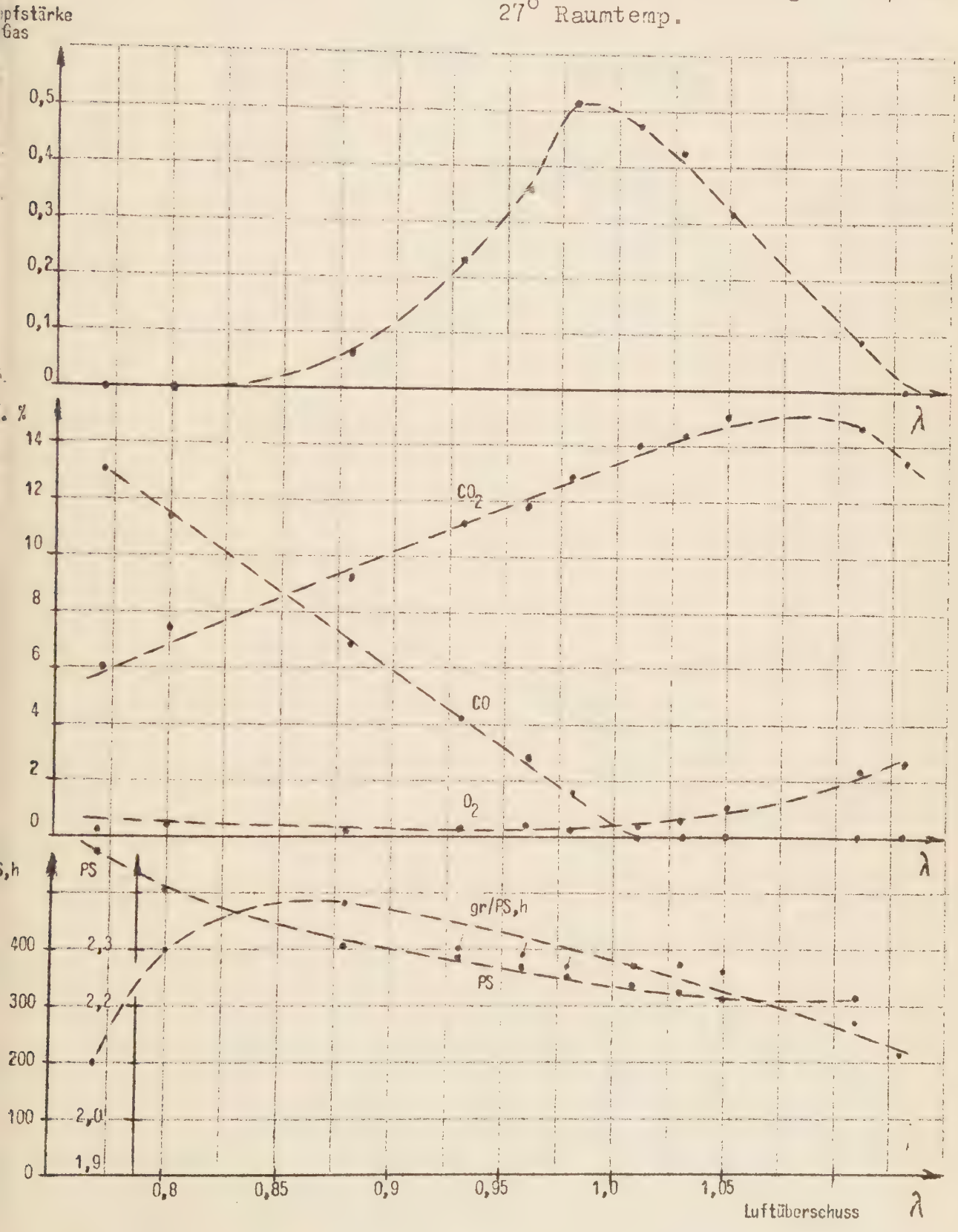


Fig. 7

Brennstoff A - L

Beziehung zwischen Klopfintensität und Luftüberschusskoeffizient.

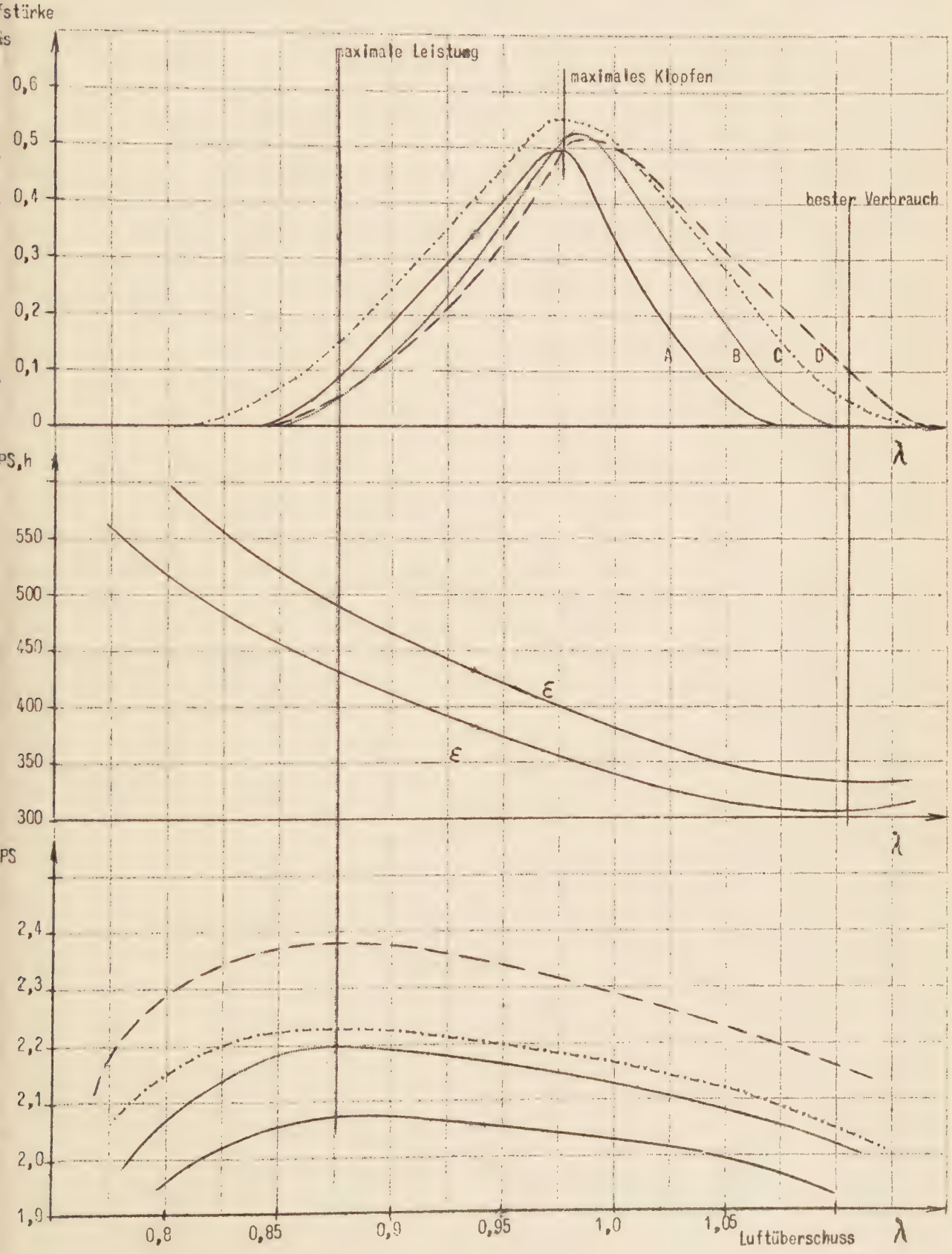


Fig. 3

HUC-Werte der Brennstoffe A, C und D.

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: Temperatur der Ansaugluft 30°C; Drehzahl 600 U.p.M.; Verdampfungskühlung; Vergasereinregul. auf maxim. Klopfen; Zündung auf beste Leistung.

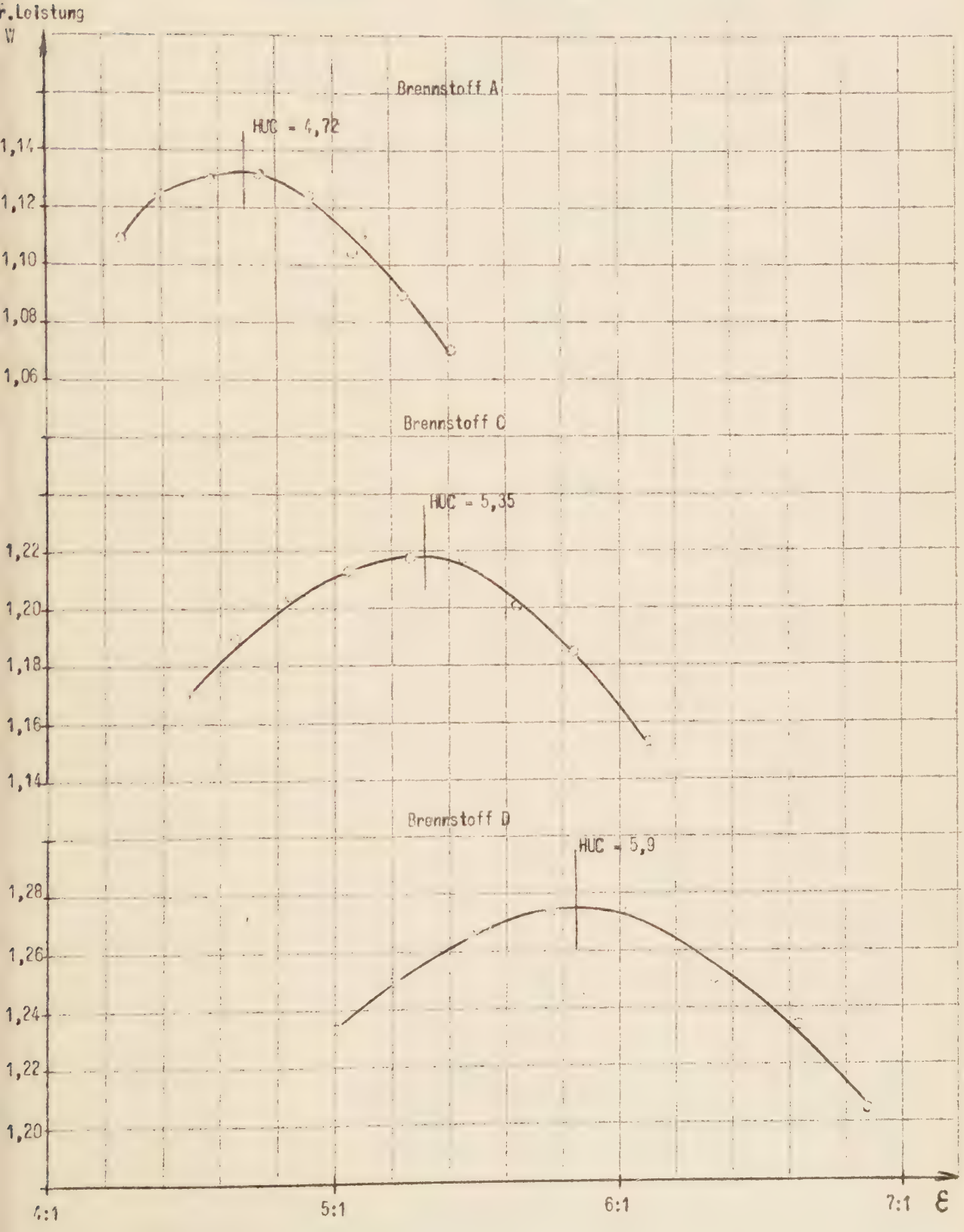


Fig. 9

HUC-Werte des Brennstoffs B bei verschiedenen Drehzahlen.

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: Temperatur der Ansaugluft 30°C; Verdampfungskühlung; Vergasereinregul.auf maxim.Klopfen; Zündung auf beste Leistung.

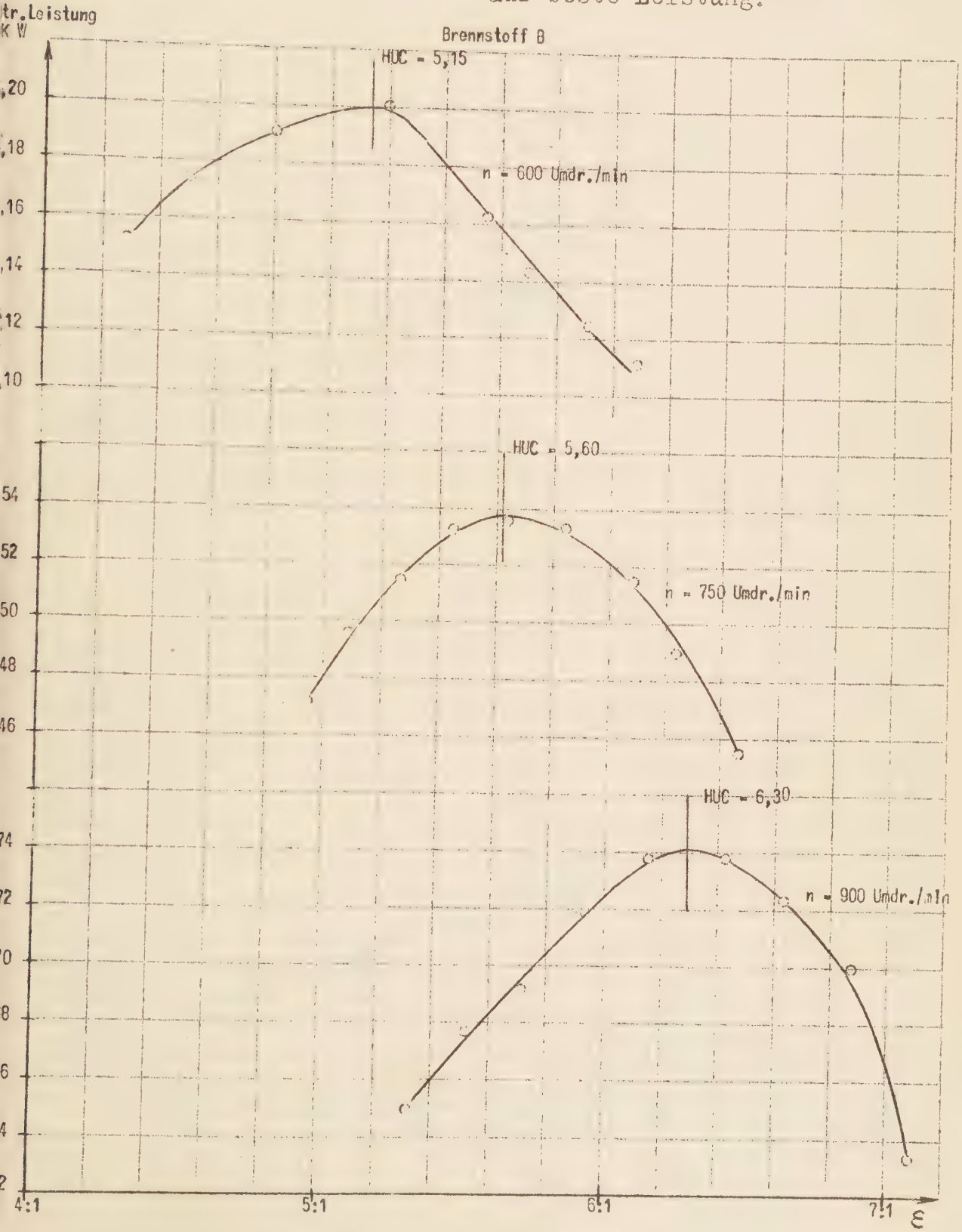
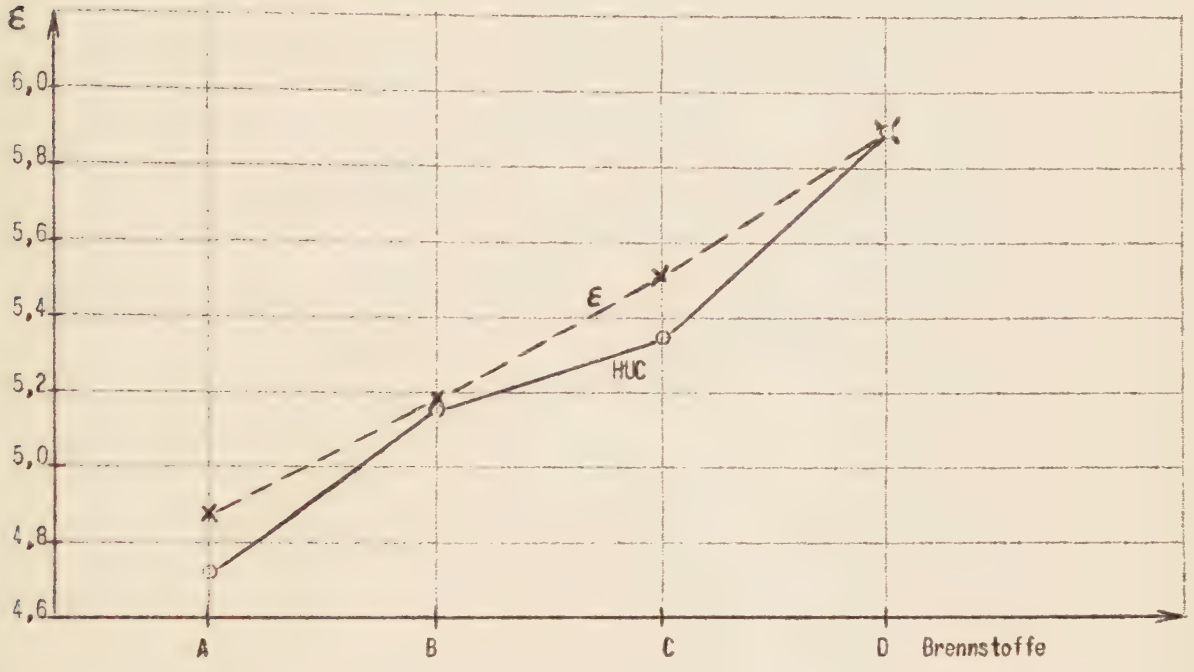


Fig. 10

HUC-Werte der Brennstoffe A - D im Vergleich zu den Klopffestigkeitswerten, wie sie bei der Untersuchung durch Ermittlung des Verdichtungsverhältnisses bei gleicher Klopfintensität am C.F.R.Motor bestimmt wurden.



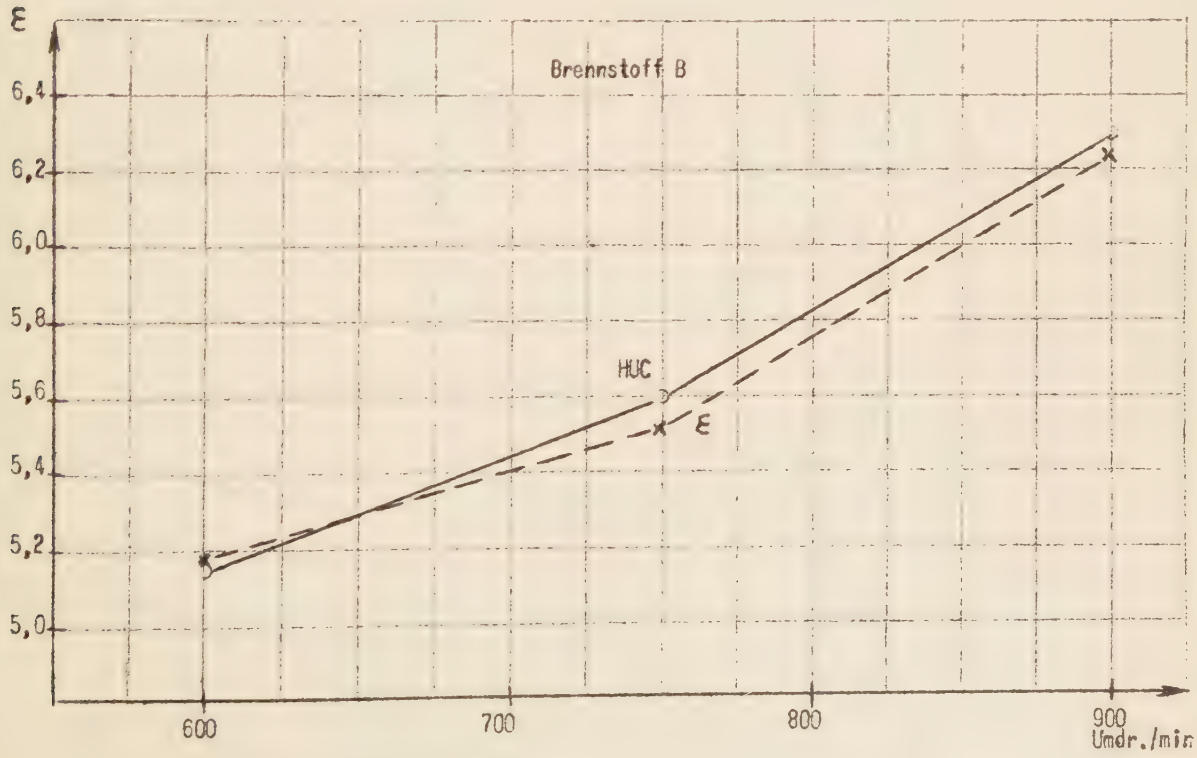


Fig. 11

Klopffestigkeit der Brennstoffe A - D, ausgedrückt im Verdichtungsverhältnis, in Abhängigkeit der Drehzahl.

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: Vergasereinregul.auf gleichstarkes Klopfen; Zündg.auf beste Leistung; Verdampfungskühlg.98°C; Lufttemp.30°C.

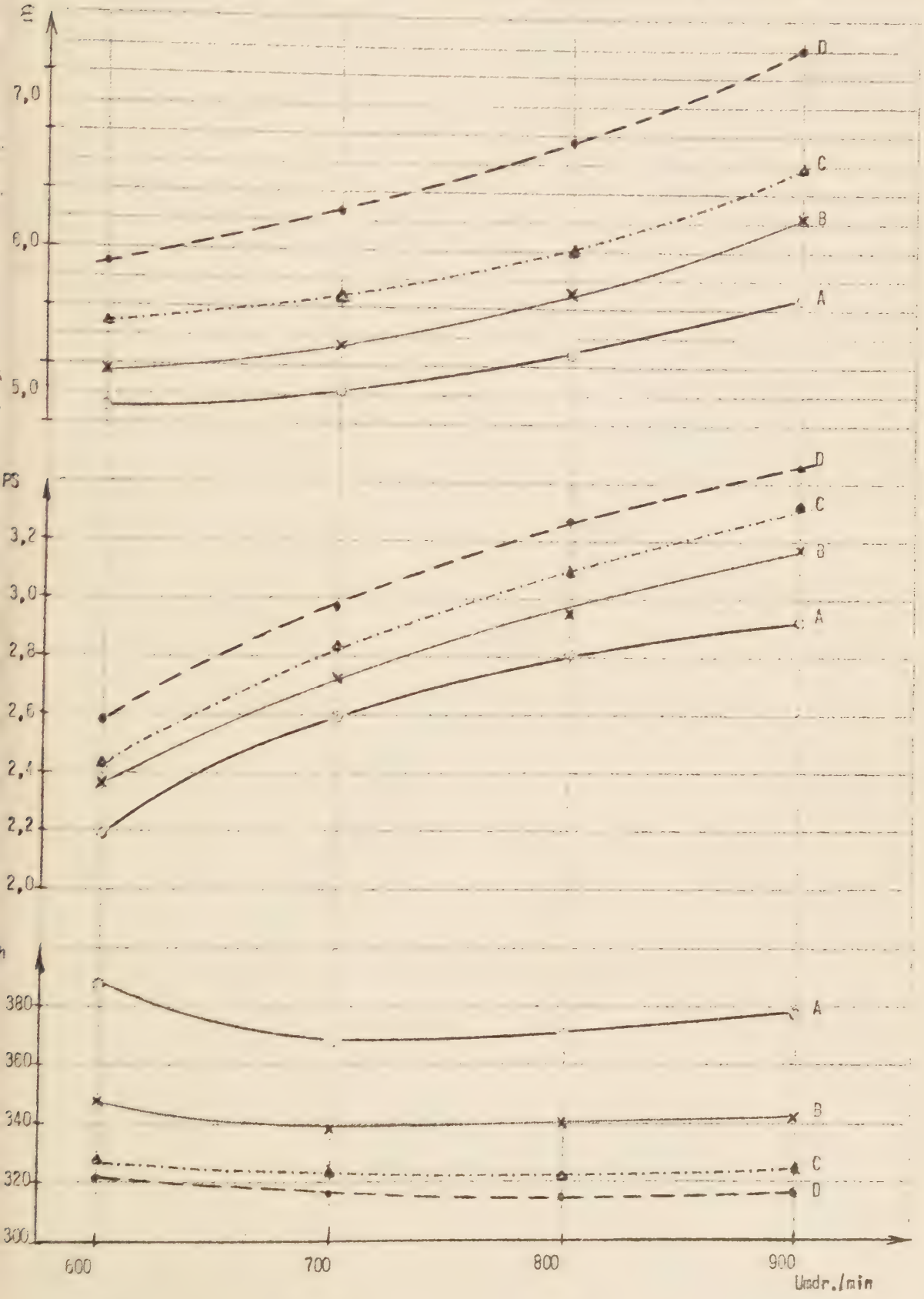


Fig. 12

Eichkurven des Substandards bei verschiedenen Drehzahlen.

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: Lufttemp. 30°C; Vergasereinregulierung auf maximales Klopfen; Zündung für maxim. Leistung; Verdampfungskühlg. 98°C.

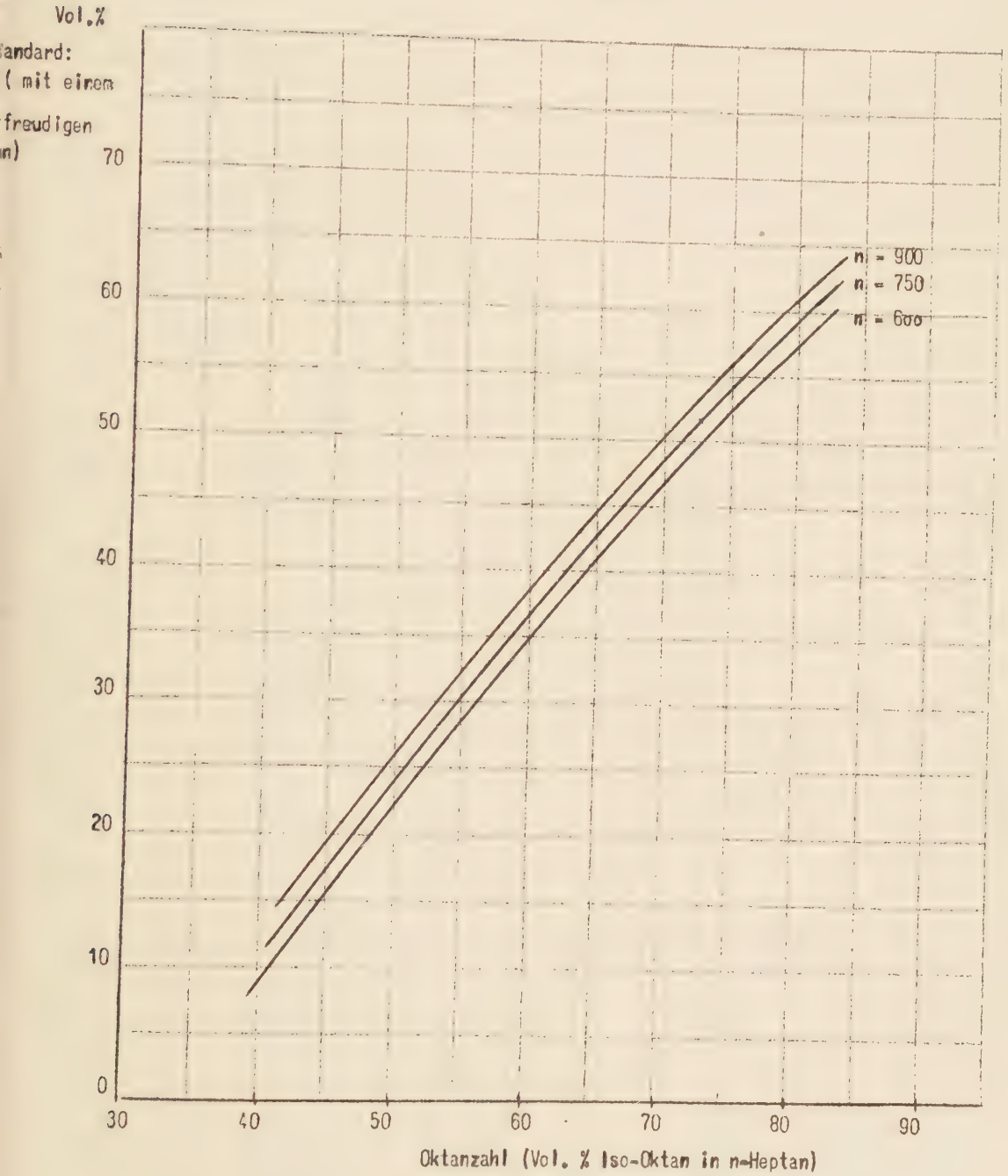


Fig. 13

Klopffestigkeit der Brennstoffe A - D, ausgedrückt in Oktanzahlen, in Abhängigkeit der Drehzahl.

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: Vergasereinregulierung auf max. Klopfen; Zündg.auf beste Leistg.; Verdampfungskühlg.98°C; Lufttemp. 30°C.

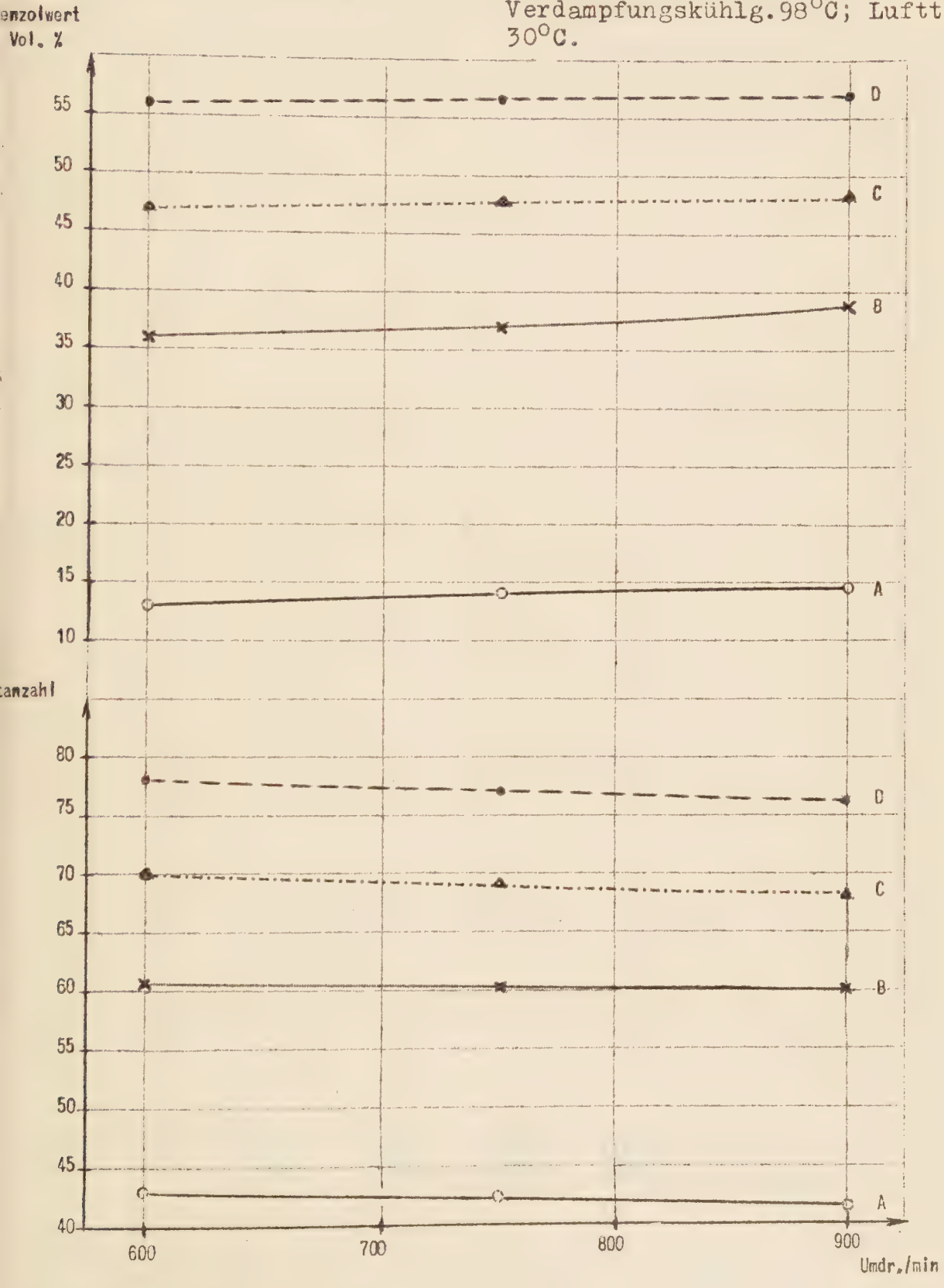


Fig. 14

Klopffestigkeit von Benzin/Benzol-Mischungen, ausgedrückt in Oktanzahlen, in Abhängigkeit von der Drehzahl.

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: Lufttemperatur 30°C; Vergasereinregul. auf maximales Klopfen; Zündung für maxim. Leistung; Verdampfungskühlung.

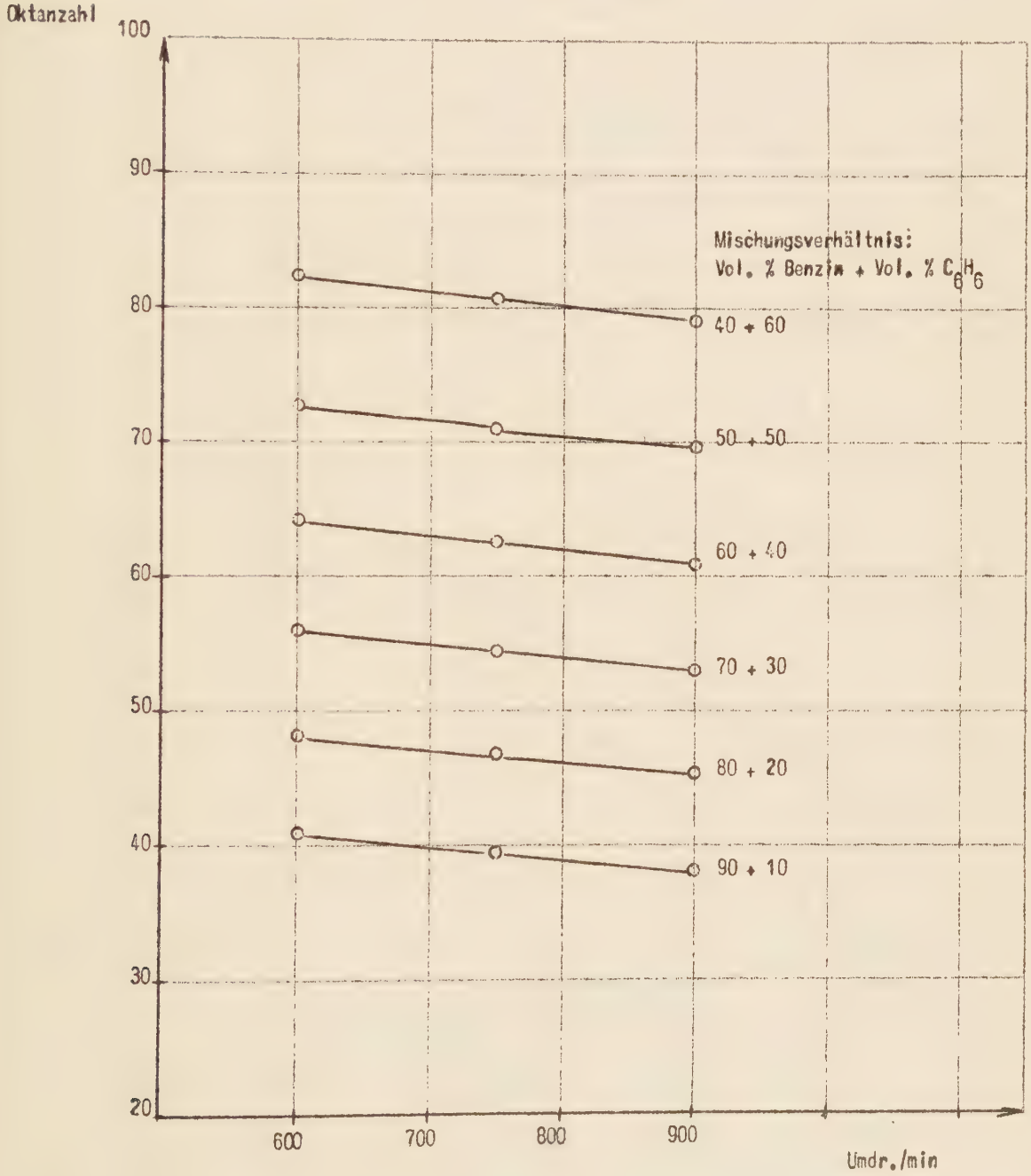


Fig. 15

Klopffestigkeit der Brennstoffe A - D, ausgedrückt im Verdichtungsverhältnis, in Abhängigkeit von der Lufttemperatur.

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: Drehzahl 600 U.p.M.; Vergasereinregul.auf gleichstarkes Klopfen; Zündg.auf beste Leistg.; Verdampfungskühlung.

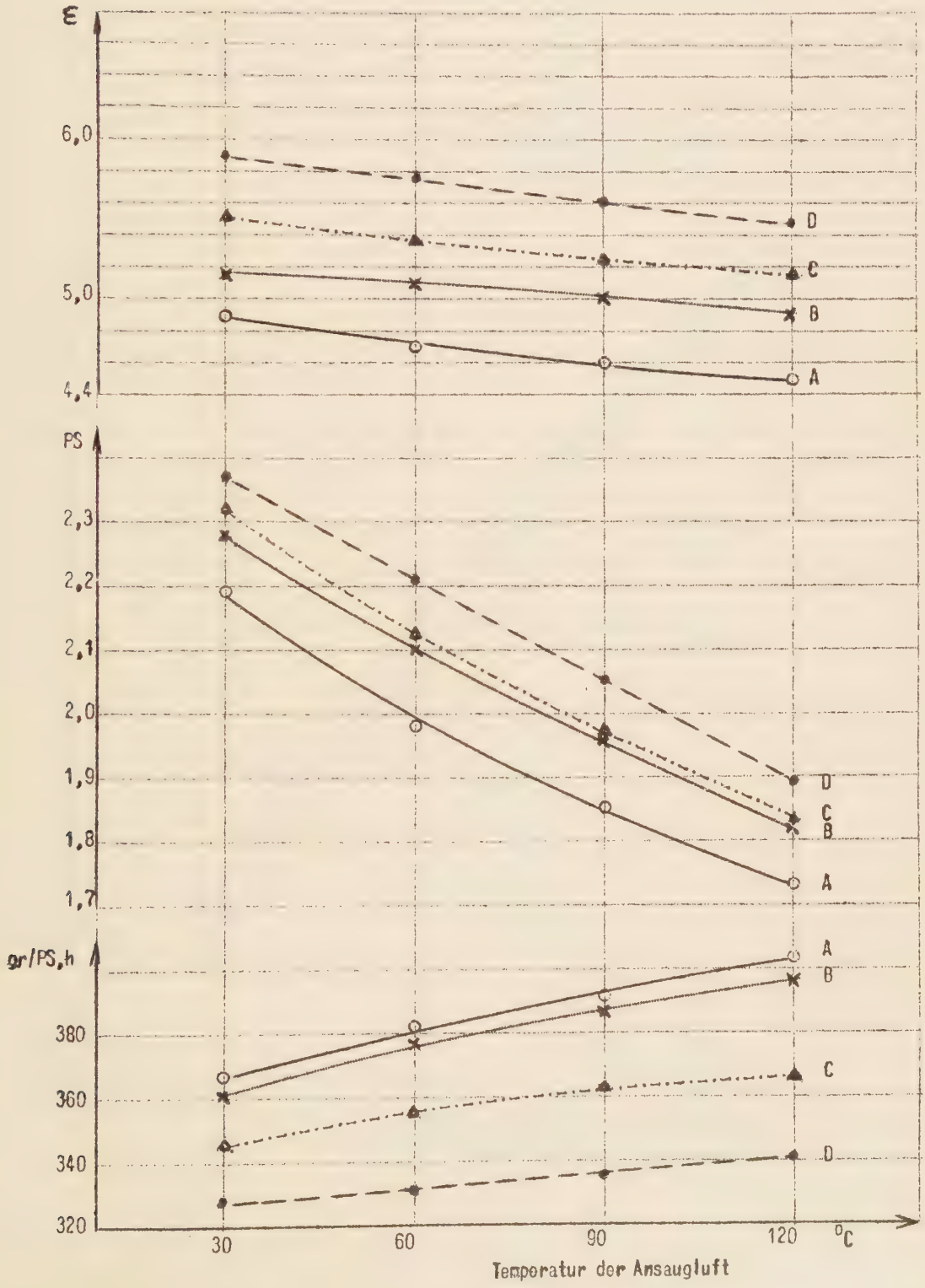


Fig. 16

Eichkurven des Substandards bei verschiedenen Lufttemperaturen.

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: Drehzahl 600 U.p.M.; Vergasereinregul.auf maxim.Klopfen; Zündung für maxim. Leistung; Verdampfungskühlung.

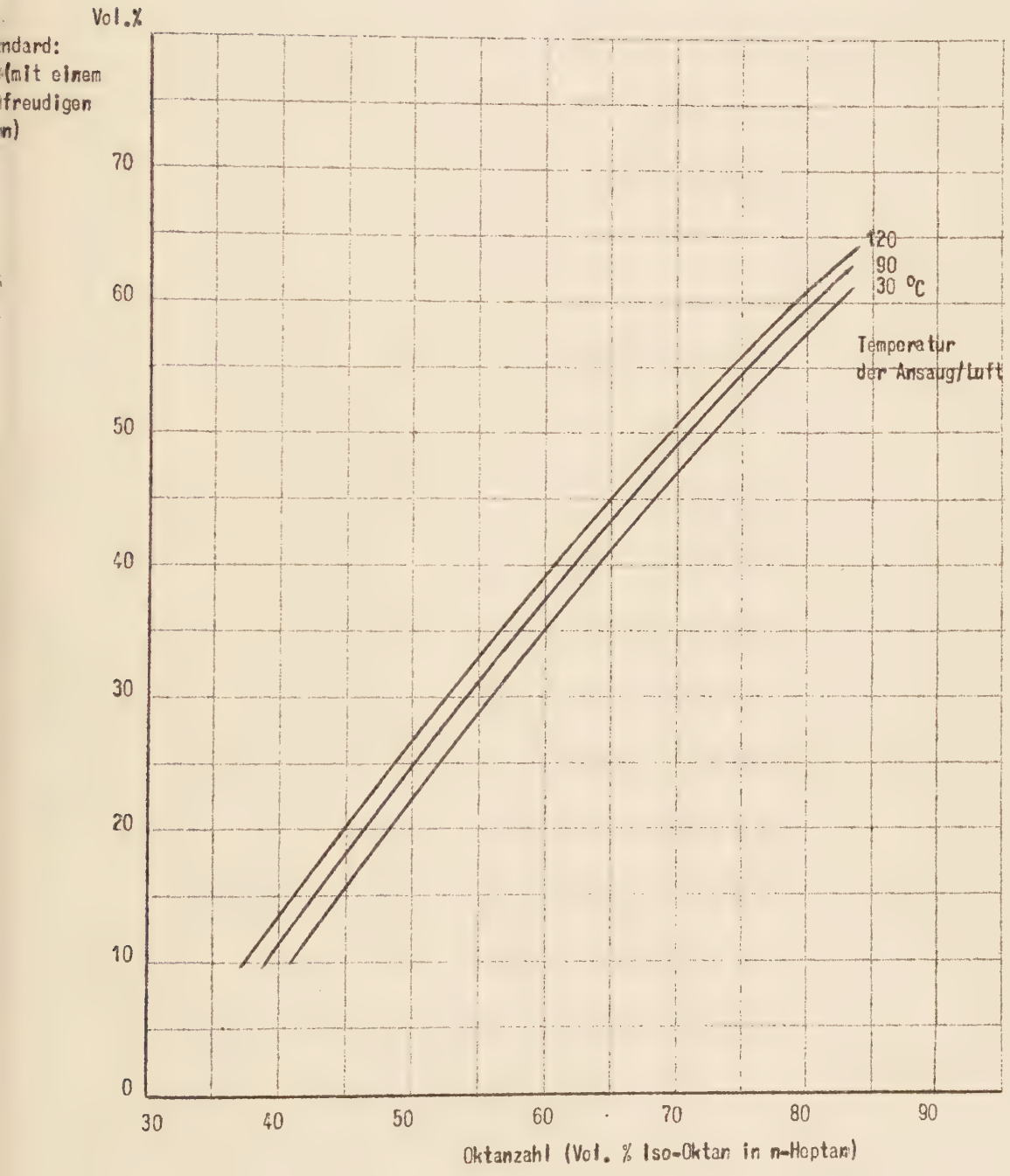


Fig. 18

Klopffestigkeit von Benzin/Benzol-Mischungen, ausgedrückt in Oktanzahlen, in Abhängigkeit von der Lufttemperatur.

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: Drehzahl 600 U.p.M.; Vergasereinregulierung auf maximales Klopfen; Zündung für maximale Leistung; Verdampfungskühlung.

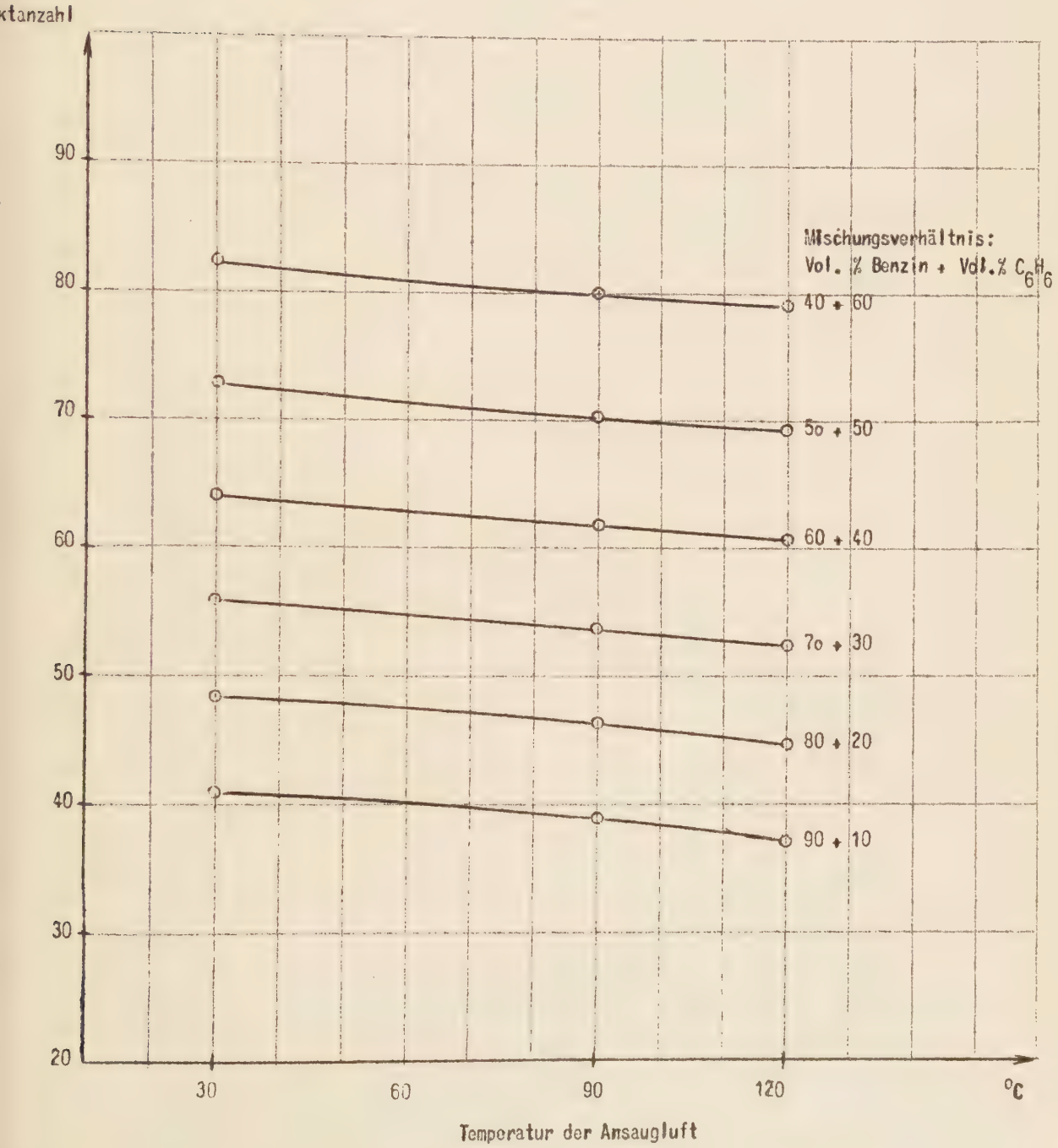


Fig. 19

Klopffestigkeit der Brennstoffe A - D, ausgedrückt im Verdichtungsverhältnis, in Abhängigkeit von der Zylindermanteltemperatur.

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: Vergasereinregulierung auf gleichstarkes Klopfen; Zündung auf beste Leistung; Lufttemp. 30°C; Drehzahl 600 U.p.M.

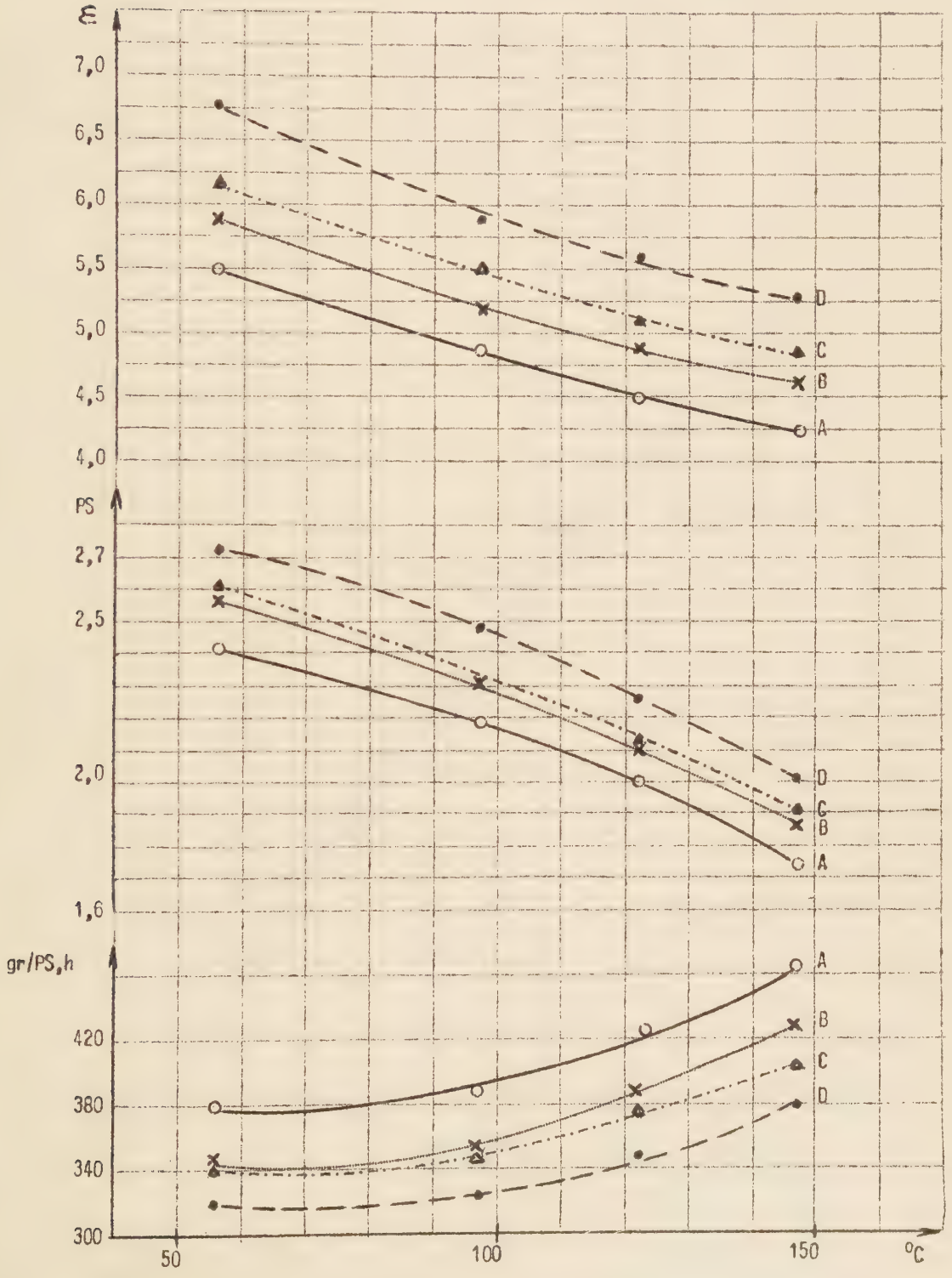


Fig. 20

Eichkurven des Substandards bei verschiedenen Zylindermanteltemperaturen.

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: Lufttemperatur 30°C; Vergasereinregulierung auf maximales Klopfen; Zündung für maximale Leistung; Drehzahl 600 U.p.M.

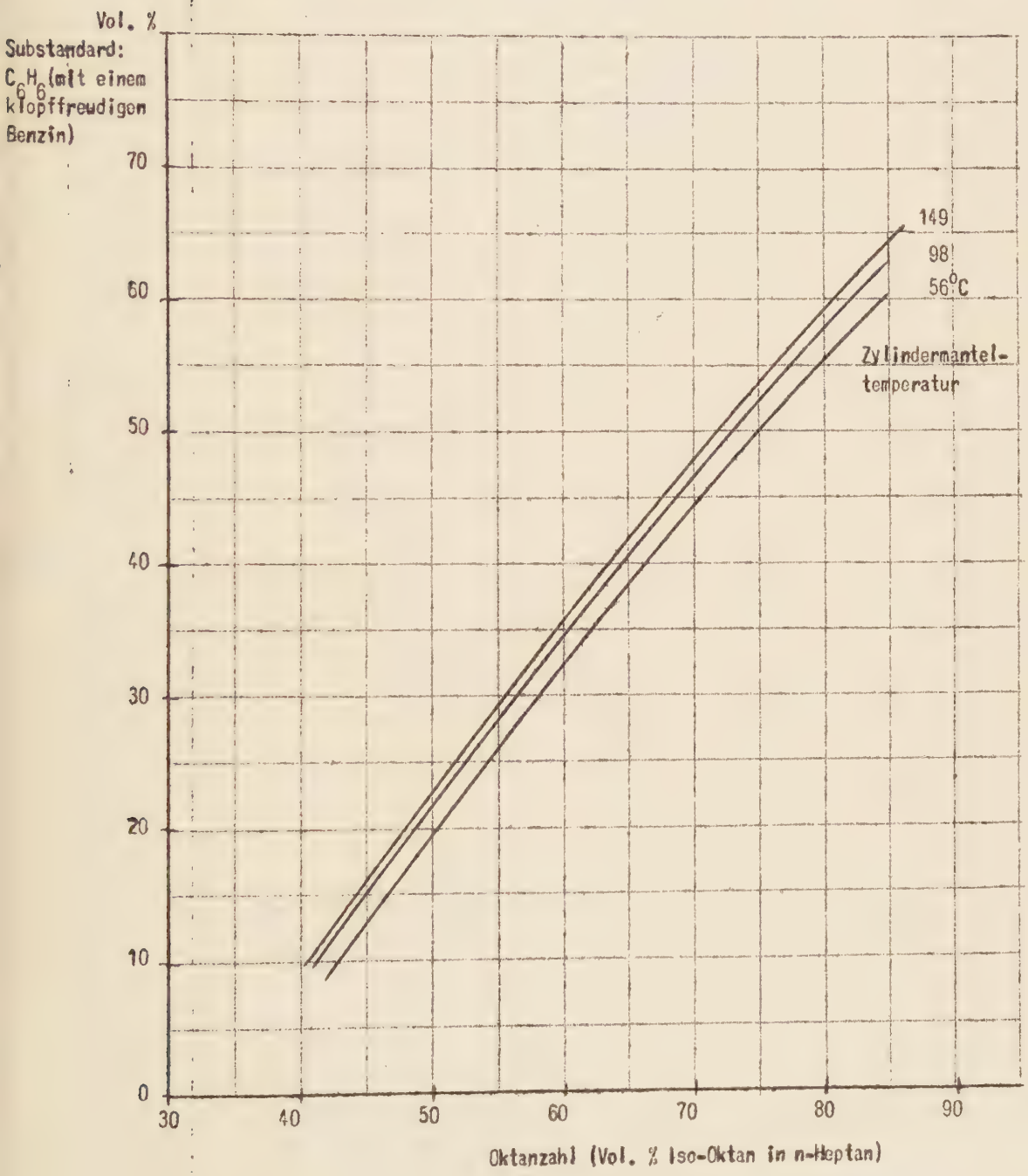


Fig. 21

Klopffestigkeit der Brennstoffe A, B und D, ausgedrückt in Oktanzahlen, in Abhängigkeit von der Zylindermanteltemperatur.

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: Vergasereinregulierung auf maximales Klopfen; Zündung auf beste Leistung; Lufttemp. 30°C; Drehzahl 600 U.p.M.

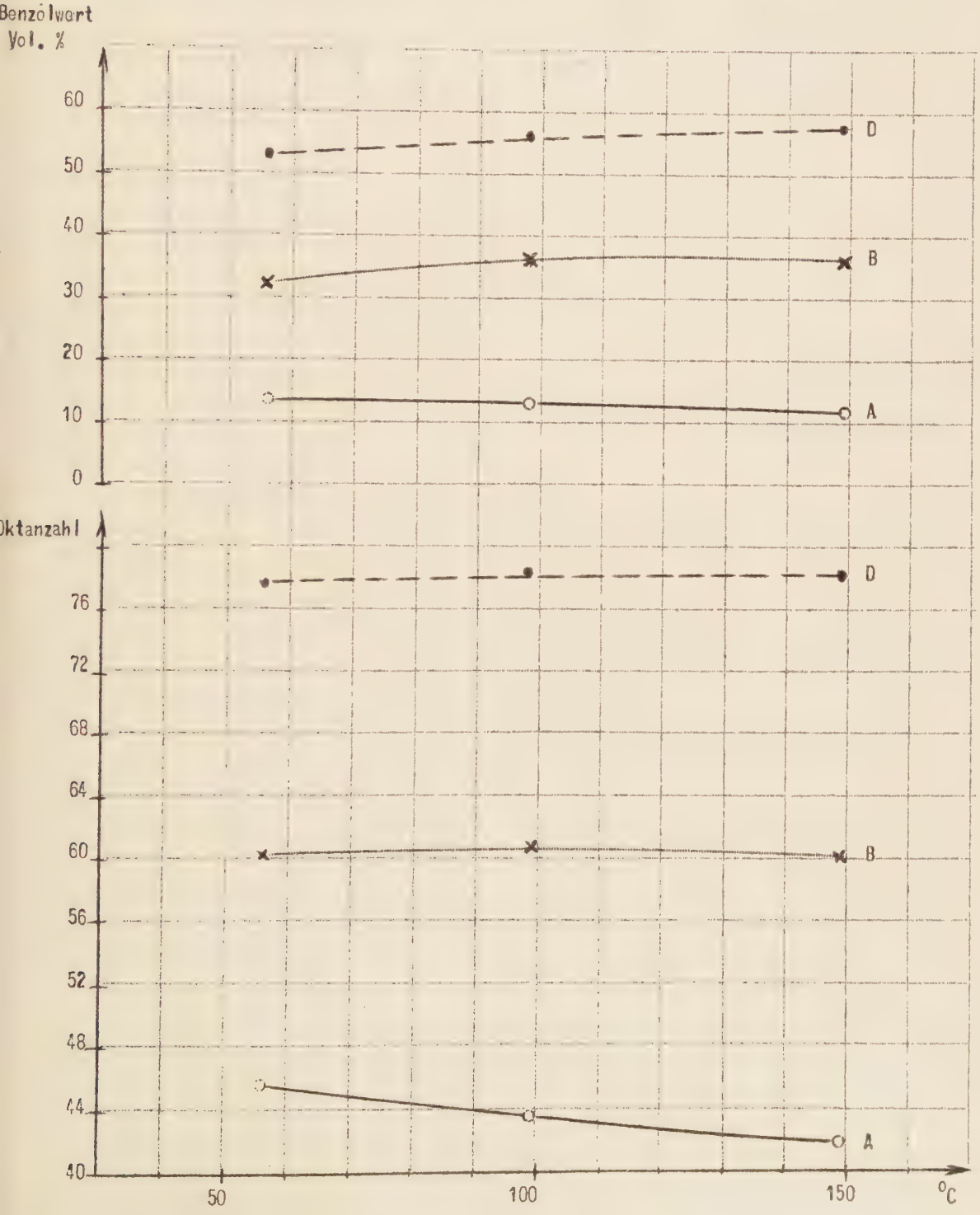
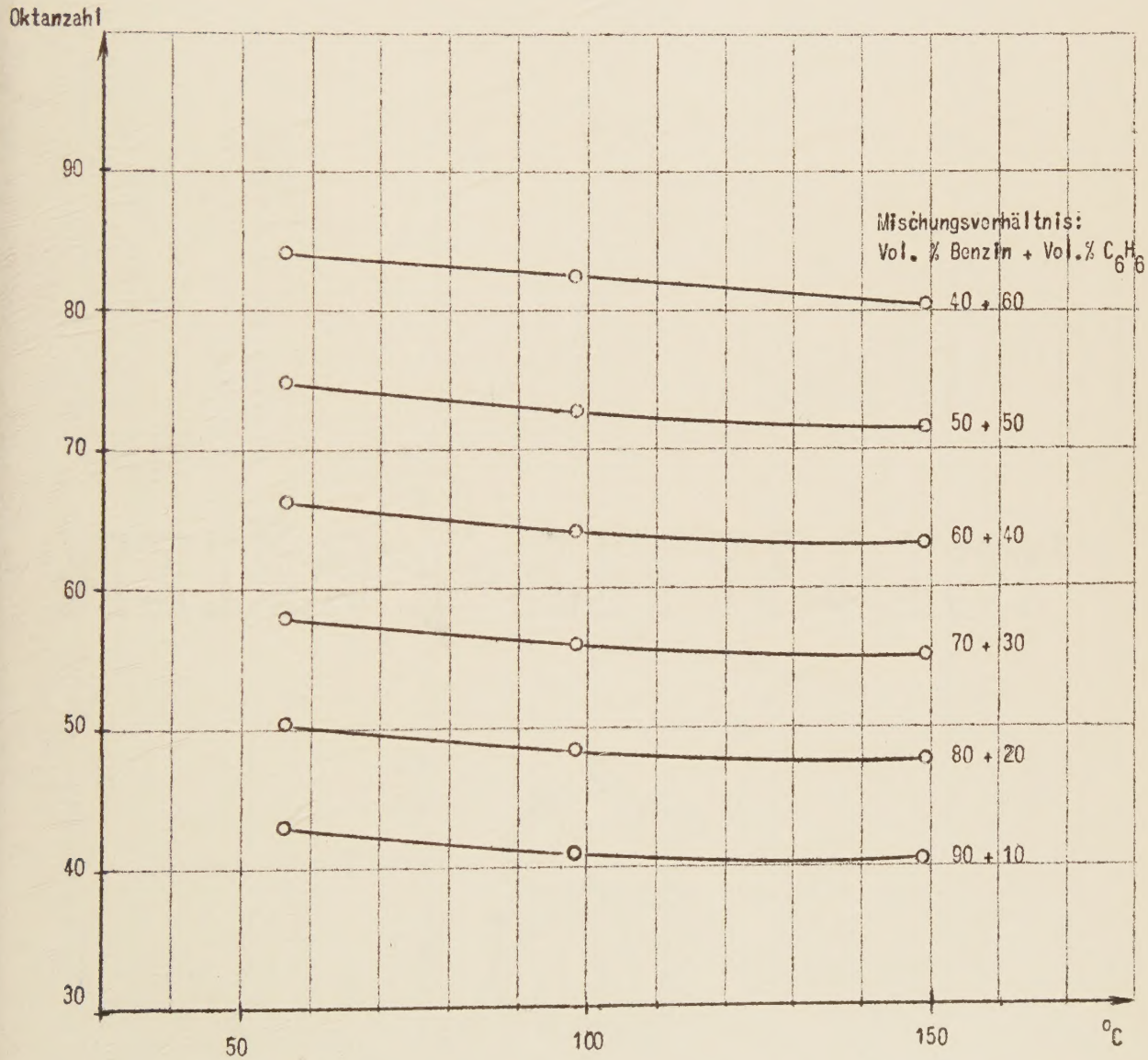
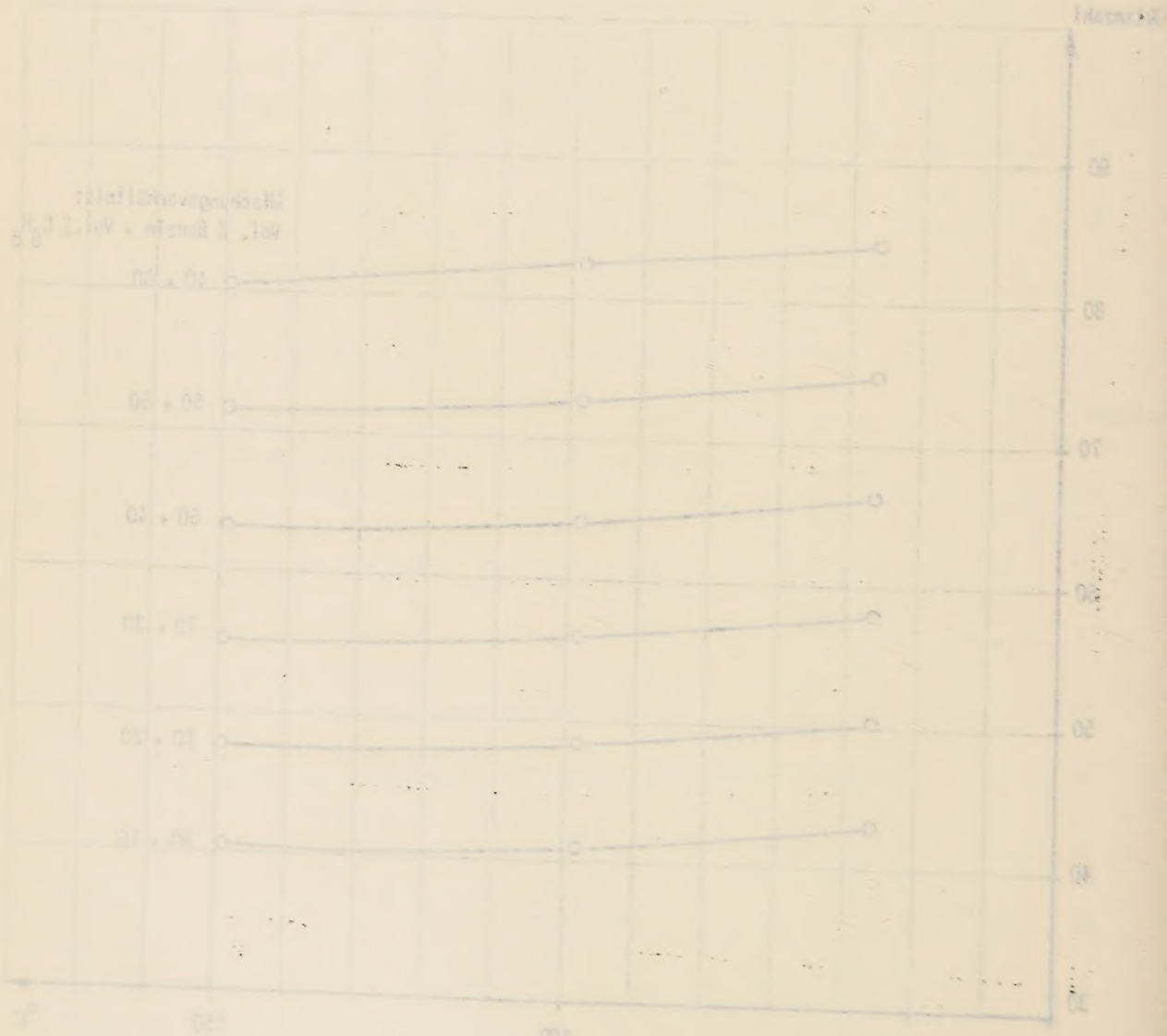


Fig. 22

Klopffestigkeit von Benzin/Benzol-Mischungen, ausgedrückt in Oktanzahlen, in Abhängigkeit von der Zylindermanteltemperatur.

C.F.R.Motor; Versuchsbedingungen: Lufttemperatur 30°C; Vergasereinregulierung auf maximales Klopfen; Zündung für maximale Leistung; Drehzahl 600 U.p.M.